



**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**29**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Харчова**  
**ПРОМИСЛОВІСТЬ**

*Заснований у 1965 р.*

**Київ НУХТ 2021**

Results of research and development operations on technology of foodstuff, chemical, biochemical, microbiological processes, devices, the equipment, automation of food productions and economy of the food industry are provided.

The journal was designed for scientists, engineers and technical personnel of the food industry

Journal "Food Industry" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical sciences (Decree of MES of Ukraine # 32 from January 15, 2018) and the category "Б" (Decree of MES of Ukraine # 612 from May 7, 2019, # 975 from July 11, 2019; in specialties 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Food Industry" is indexed by the following scientometric databases:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Publications are represented in authoring edition.

Висвітлені результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників харчової промисловості.

Журнал «Харчова промисловість» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних наук (Наказ МОН України № 32 від 15.01.2018) та категорію «Б» (Накази МОН України № 612 від 07.05.2019 р. та № 975 від 11.07.2019, за спеціальностями 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Харчова промисловість» індексується такими наукометричними базами:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Статті друкуються в авторській редакції.

#### **Editorial office address:**

National University of  
Food Technologies  
Volodymyrska str., 68,  
01601 Kyiv, Ukraine  
(044) 287-92-45, 287-94-21  
E-mail: [tmipt\\_xp@ukr.net](mailto:tmipt_xp@ukr.net)

#### **Адреса редакції:**

Національний університет  
харчових технологій  
вул. Володимирська, 68,  
м. Київ, 01601  
(044) 287-92-45, 287-94-21  
E-mail: [tmipt\\_xp@ukr.net](mailto:tmipt_xp@ukr.net)

Recommended for publication by the  
Academic Council of the National University of  
Food Technologies.  
Minutes of meeting № 2 of  
September 30, 2021

Рекомендовано вченою радою  
Національного університету харчових  
технологій.  
Протокол № 2 від 30 вересня 2021 року

---

## Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу «Харчова промисловість»

**Головний редактор**  
**Editor-in-Chief**

**Анатолій Соколенко**  
**Anatoliy Sokolenko**

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

**Відповідальний секретар**  
**Accountable secretary**

**Сергій Токарчук**  
**Serhiy Tokarchuk**

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

## Члени редакційної колегії:

**Станка Дамянова**  
**Stanka Damyanova**

д-р техн. наук, доц., Болгарія  
DSc, Assoc. Prof., Razgrad Branch of the University of Ruse, Bulgaria

**Стефан Стефанов**  
**Stefan Stefanov**

д-р инж., проф., Болгарія  
DSc, Prof., University of Food Technologies — Plovdiv, Bulgaria

**Іван Шило**  
**Ivan Shylo**

д-р техн. наук, проф., Білорусь  
Ph. D. Hab., Prof., Belarusian State Agrarian Technical University,  
Republic of Belarus

**Олександр Шевченко**  
**Olexander Shevchenko**

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

**Лариса Арсеньєва**  
**Larysa Arsen'yeva**

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

**Олена Білик**  
**Olena Bilyk**

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

**Олександр Гавва**  
**Oleksandr Gavva**

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

**Наталія Гусятинська**  
**Nataliia Husiatynska**

д-р техн. наук, проф., 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

**Юлія Камбулова**  
**Yuliia Kambulova**

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

**Василь Кишенько**  
**Vasil Kyshenko**

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

**Оксана Кочубей-Литвиненко**  
**Oksana Kochubei-Lytvynenko**

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

**Олександр Кургаєв**  
**Oleksandr Kurgaev**

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

**Анатолій Ладанюк**  
**Anatoly Ladanyuk**

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

**Тетяна Лебеденко**  
**Tetiana Lebedenko**

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

**Світлана Літвинчук**  
**Svitlana Litynychuk**

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

**Андрій Маринін**  
**Andrii Marynin**

канд. техн. наук, ст. наук. співр., Україна  
Ph. D., Senior Research Officer,  
National University of Food Technologies, Ukraine

**Тамара Носенко**  
**Tamara Nosenko**

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

**Тетяна Пирог**  
**Tetyana Pyroh**

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

---

**Галина Поліщук**  
**Galina Polischuk**

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

**Віталій Прибильський**  
**Vitaliy Prybyl's'kyu**

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

**Наталія Пушанко**  
**Nataliia Pushanko**

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

**Олександр Серьогін**  
**Oleksandr Ser'ohin**

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

**Тетяна Сільчук**  
**Tetiana Silchuk**

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

**Галина Сімахіна**  
**Halyna Simakhina**

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

**Віктор Стабніков**  
**Viktor Stabnikov**

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

**Віра Юрчак**  
**Vira Yurchak**

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

**Микола Якимчук**  
**Mykola Yakymchuk**

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

## ЗМІСТ

### РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ

#### *Сировина та матеріали*

Ткаченко А. С. Вивчення амінокислотного складу органічних вафель

Хомич Г. П., Горобець О. М., Левченко Ю. В. Вплив продуктів переробки хеномелесу на процес черствіння дріжджових виробів

#### *Технології: дослідження, застосування та впровадження*

Онофрійчук О. С., Кохан О. О., Камбулова Ю. В., Марцинкевич Л. В. Дослідження поведінки неглазурованих помадних цукерок з частковою заміною цукру на полідекстрозу під час їх зберігання

Ощипок І. М. Дослідження задачі тепломасопереносу в усталених процесах дозрівання і сушіння сирокочених ковбас

Іванов Є. І., Шутюк В. В. Функціональний напій із солодової сировини як замітник натуральної кави

### РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

#### *Процеси харчових виробництв*

Бовт М. М., Чепелюк О. О., Чепелюк О. М. Визначення раціональних параметрів процесу змішування і зволоження компонентів таблетувальних сумішей

Степанець О. І., Костюк В. С., Пригодій Д. В., Ступак Ю. О. Динаміка перехідних процесів у приводах технологічних машин

Васильківський К. В., Деренівська А. В., Максименко І. Ф., Скуйбіда Є. Л. Впливи фізичних параметрів середовищ на рівень летальних ефектів при вакуумуванні

Беседа С. Д., Литовченко І. М., Литовченко О. І. Визначення втрат енергії на вході в накопичувачі м'ясних продуктів

Бублієнко Н. О. Метанова ферментація концентрованих стічних вод цукрозаводів

#### *Пакування: розробка, дослідження, переробка*

Гавва О. М., Шоловій Ю. П., Магерус Н. І. Аналіз процесу термоконтактного зварювання поліетиленових плівок, забруднених дрібнодисперсними сипкими матеріалами

Якимчук М. В., Гавва О. М., Токарчук С. В., Якимчук В. М. Аквафоніка в системах подачі рідких харчових продуктів ліній пакування

Токарчук С. В., Кривопляс-Володіна Л. О., Валіулін Г. Р. Експериментальні дослідження явища статичного гідравлічного гістерезису в дозувальному мехатронному модулі

#### *Керування виробничими процесами*

Хваста М. М., Піддубний В. А., Степанець О. І., Ступак Ю. О. Логістика потоків харчових виробництв

## CONTENTS

### SECTION 1. TECHNOLOGY

#### *Raw Materials and Materials*

Tkachenko A. Study of amino acid composition of wafers from organic raw materials

Khomych G., Levchenko Y., Horobet A. Influence of henomeles processing products on the process of steaming yeast products

#### *Technologies: Researches, Application and Introduction*

Onofriichuk O., Kokhan O., Kambulova Yu., Martsynkevych L. Study of behavior of non-glazed fondant sweets with partial replacement of sugar by polydextrose during their storage

Oshchypok I. Investigation problem of heat-mass transfer in installed ripening and drying processes raw-smoked sausages

Ivanov Y., Schutuyk V. Functional drink from malt raw materials as a substitute for natural coffee

### SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

#### *Processes of Food Industries*

Bovt M., Chepeliuk O., Chepeliuk O. Determination of rational parameters of the mixing and wetting process of the tableting mixtures components

Stepanets O., Kostyuk V., Pryhodii D., Stupak J. Dynamics of transition processes in drives technological machines

Vasylkivsky K., Derenivska A., Maksymenko I., Skuybida E. Determination of influences of physical parameters of the environment on the level of fatal effects under vacuum conditions

Beseda S., Litovchenko I., Litovchenko O. Determination of energy losses at the entrance to the meat products store

Bublienko N. Methane fermentation of concentrated wastewater of sugar plants

#### *Packing: Development, Researches, Processing*

Havva O., Sholovii Yu., Maherus N. Analysis of the process of thermal contact welding of plastic films contaminated with fine bulk materials

Yakymchuk M., Gavva O., Tokarchuk S., Yakymchuk V. Aquatronics in systems of liquid food products for packaging lines

Tokarchuk S., Krivoplas-Volodina L., Valiulin G. Experimental studies of static hydraulic hysteresis phenomenon in metering mechatronic module

#### *Control of Production Processes*

Khwasta M., Pidubnyi V., Stepanets O., Stupak Y. Logistics food production flows

---

<b><i>Енергетика та виробничі процеси</i></b>	
<i>Калита В. С., Осмак О. О. Аналіз способів</i>	139
отримання альтернативних джерел енергії	
<b><i>Power engineering and productions</i></b>	
<i>Kalita V., Osmak O. Analysis of methods of</i>	
obtaining alternative sources of energy	

УДК 664.682:641.1

# STUDY OF AMINO ACID COMPOSITION OF WAFERS FROM ORGANIC RAW MATERIALS

**A. Tkachenko***Higher Educational Establishment of Ukoopspilka "Poltava University of Economics and Trade"***Key words:**

organic raw materials,  
waffles with fillings,  
amino acid composition,  
amino acid score,  
essential amino acids

**Article history:**

Received 16.03.2021

Received in revised form  
26.04.2021

Accepted 27.05.2021

**Corresponding author:**

alina\_biaf@ukr.net

**ABSTRACT**

The paper deals with the analysis of the amino acid composition of new wafers. The recipes for waffles with fillings "Summer Temptation" and "Coconut Delight" were developed by the method of mathematical modeling. The control sample was Artek waffles, made according to a known recipe. The recipes of the new waffles are distinguished by the fact that they are made entirely from organic raw materials and wheat flour has been replaced with rice and buckwheat flour, coconut sugar, coconut and sea buckthorn oil, coconut milk powder, and lemongrass powder are also present in the wafers. The amino acid composition was analyzed by ion-exchange liquid column chromatography on an automatic amino acid analyzer T339 manufactured by Mikrotekhnika, Czech Republic. The amino acid score was determined by the ratio of the amount of the corresponding essential amino acid in 1 g of protein of waffle cakes to its regulated content in the "ideal protein" on the FAO/WHO scale. In the studied wafer samples, the protein content was determined, which was: in Artek wafers — 3.2 g / 100 g in "Summer Temptation wafers" — 6.2 g / 100 g in "Coconut Delight" wafers — 4.9 g / 100 g. The sample based on organic buckwheat flour was distinguished by the best amino acid composition. The content of lysine increased by 15.5% compared to the control, and threonine — by 25%. In the sample "Coconut Delight" the amount of lysine increased compared to the control sample by 22%. Waffles based on organic buckwheat flour had the best amino acid composition. The "Coconut Delight" sample had a higher lysine content. In the samples "Summer Temptation" and "Coconut Delight", the highest rates of amino acids, isoleucine, phenylalanine, leucine, were observed. The valine score increased 1.72 times in the Summer Temptation sample; in the sample "Coconut Delight" — 1.54 times. There was a significant increase in the rate of phenylalanine in the sample "Summer Temptation" — 1.74 times, and in the sample "Coconut Delight" — 1.55 times. In the developed samples amino acid score increased significantly. Nevertheless, methionine was still limited by the amino acid in the developed samples.

The results of this study can be used by confectionery companies to expand the range of organic products with improved consumer properties.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-3

## ВИВЧЕННЯ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ ОРГАНІЧНИХ ВАФЕЛЬ

**А. С. Ткаченко, канд. техн. наук**

*ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»*

*У статті проведено аналіз амінокислотного складу нових вафель. Рецепттури вафель з начинками «Літня спокуса» та «Кокосова насолода» розроблено методом математичного моделювання. Рецепттури нових вафель відрізняються тим, що вони виготовлені повністю з органічної сировини, а борошно пшеничне замінено на рисове та гречане, також у складі вафель присутній цукор кокосовий, олія кокосова та обліпихова, сухе молоко кокосове, порошок лемонграсу. Амінокислотний склад у зразках досліджено методом іонообмінної рідинно-колонкової хроматографії.*

*У досліджуваних зразках вафель було визначено вміст білка, який склав: у вафлях «Артек» — 3,2 г / 100 г; у вафлях «Літня спокуса» — 6,2 г / 100 г; у вафлях «Кокосова насолода» — 4,9 г / 100 г. Кращим амінокислотним складом відрізнявся зразок на основі гречаного органічного борошна. Зразок «Кокосова насолода» відрізнявся підвищеним вмістом лізину. У зразках «Літня спокуса» та «Кокосова насолода» найвищими були шкоти амінокислот (ізолейцин, фенілаланін, лейцин).*

*Результати дослідження можуть використовуватися підприємствами кондитерської галузі для розширення асортименту органічної продукції з поліпшеними споживними властивостями.*

**Ключові слова:** органічна сировина, вафлі з начинками, амінокислотний склад, амінокислотний скор, незамінні амінокислоти.

**Постановка проблеми.** Споживання органічної харчової продукції у світі стрімко зростає щороку. Нарощуються також обсяги її виробництва. Так, за даними [1], Україна, маючи значний потенціал для виробництва органічної сільськогосподарської продукції, її експорту, споживання на внутрішньому ринку, досягла певних результатів щодо розвитку власного органічного виробництва. За даними моніторингу, проведеного Міністерством економіки, у 2019 р. загальна площа сільськогосподарських земель з органічним статусом і перехідного періоду склала близько 468 тис. га [2]. Проте не лише первинне виробництво повинно стати пріоритетним напрямком органічного сектору в Україні. Зважаючи на зростання популярності органічних харчових продуктів, попит на цю продукцію в Європейському Союзі, для вітчизняної харчової промисловості розширення асортименту виробів з органічної сировини є досить актуальним завданням.

Протягом 2019 р. до ЄС ввезено 3,24 млн т органічної агропродовольчої продукції, більше ніж 10% з якої — українська. При цьому український імпорт до ЄС збільшився на 27% — з 265,8 тис. т у 2018 р. до 337,9 тис. т у 2019 р. [2]. Найбільшими країнами-споживачами вітчизняної органічної продукції є Нідерланди, Німеччина, США, Швейцарія, Італія, Велика Британія, Австрія, Польща, Чехія, Франція, Угорщина, Румунія, Бельгія, Болгарія, Литва, Канада та Данія. Основними експортними продуктами є зернові, олійні, ягоди, гриби, горіхи фрукти. Також експортуються макуха соняшника, борошно, олія соняшникова, шрот соняшниковий, яблучний концентрат і березовий сік. Кондитерська продукція не потрапила до переліку органічної продукції, яка експортується у значних обсягах в інші країни. У той же час, в Україні зосереджена потужна кондитерська промисловість. Експорт органічних кондитерських виробів із поліпшеними споживними властивостями може стати досить прибутковим напрямком розвитку кондитерських підприємств.



Органічна харчова продукція сьогодні є своєрідним трендом здорового харчування. У той же час не можна стверджувати, що органічна продукція позитивно впливає на здоров'я людини. Зокрема, бракує довготривалих інтервенційних досліджень, спрямованих на виявлення потенційних зв'язків між споживанням органічної їжі та здоров'ям, головним чином через високі витрати [3]. Саме тому при розробці нових органічних харчових продуктів слід обирати не лише традиційну сировину, а й функціональні інгредієнти. Об'єктом дослідження у цій статті є вафлі. Вафлі посідають важливе місце серед усіх борошняних кондитерських виробів. Поліпшенню споживних властивостей вафель приділяли увагу науковці І. В. Сирохман, В. Т. Лебединець, Т. М. Лозова [4, 5]. Необхідність таких наукових пошуків викликана незбалансованим складом вафель, що реалізуються в сучасній торговельній мережі. Так, наприклад, до рецептури відомих вафель «Артек», зазвичай, входить цукор, борошно пшеничне, жир кондитерський, какао-порошок, сіль кухонна, емульгатор лецитин сояшиниковий, розпушувач тіста, сироватка молочна суха. Зазначений рецептурний склад обумовлює високу енергетичну цінність продукту та низьку кількість незамінних амінокислот. Вафлі мають довготривалий термін зберігання, завдяки чому продукт може експортуватися та продаватися за кордоном. Органічні вафлі можуть бути перспективним товаром для представлення на внутрішньому та зовнішньому ринках. Вартість вафель є відносно невисокою. Враховуючи вищевикладене, саме цей борошняний кондитерський виріб було обрано об'єктом дослідження.

Для розроблення запропонованих виробів обрано органічну сировину: борошно рисове, гречане, цукор кокосовий, молоко кокосове сухе, кокосова олія, обліпихова олія, порошок лемонграсу.

Аналіз даних засвідчив, що майже в усьому світі споживачі, які дотримуються принципів здорового харчування, віддають перевагу здебільшого рослинним заміникам молока. Найбільше до вживання харчових продуктів рослинного походження людей спонукає етичне ставлення до тварин, прагнення зміцнити своє здоров'я та думка про негативний вплив виробництва м'ясо-молочної продукції на навколишнє середовище [6]. Слід зазначити, що, окрім олії, кокосові горіхи містять також білки з помірно збалансованим амінокислотним профілем з точки зору поживної цінності. Ці білки містять велику кількість незамінних амінокислот (від 71% до 77%), засвоюваність — від 86% до 94%. Як правило, кокосові білки мають порівняно високий рівень глутамінової кислоти (17,0% до 27,2%), аргініну (14,2% — 17,9%) та аспарагінової кислоти (5,6% — 8,9%), але дефіцит метіоніну (1,2% — 2,9%) [7].

Альтернативні види борошна є досить перспективним вирішенням проблеми поліпшення споживних властивостей кондитерських виробів. З цієї точки зору рисове та гречане борошно, які використані у рецептурах зразків, є досить цінними. Дослідженню цих видів борошна присвячено багато наукових праць. Існують також результати отримання білкових концентратів та ізолятів з коричневого рису, що підтверджують цінність амінокислотного складу рису [8]. За вмістом лізину гречка має переваги над рисом, пшеницею, житом і наближається до соєвих бобів за вмістом треоніну над просом, а також за вмістом валіну над рисом. За вмістом триптофану гречка не поступається продуктам тваринного походження, за вмістом валіну гречка може бути прирівняна до молока, за лейцином — до яловичини, фенілаланіном — до молока і яловичини. Білки гречки непогано збалансовані за вмістом незамінних амінокислот (виняток становить ізолейцин). У зерні риса білка від 5,4 до 10,4%. Білки в зерні риса розподілені нерівномірно. Фракційний склад білків рису залежить від сортових властивостей [9]. Борошно гречане підвищує у výroбах частку повноцінних білків, мінеральних елементів, харчових волокон і вітамінів (тіаміну, рибофлавіну, ніацину), а також характеризується зниженим глікемічним індексом [4].

Лікарські трави містять значну кількість корисних речовин. Так, для виробництва зразків було використано лемонграс. Лимонна трава (лемонграс) має цитрусово-імбирний приємний аромат з ноткою мигдалевого присмаку. Лемонграс містить ефірну олію, у складі якої близько 80% цитралю, 20...30% цитронелолу і гераніолу, 15% гераніалю, 10% нералю, 5% цитронелалю, незначна кількість міоцену [10].

Отже, обрана сировина відрізняється поліпшеними споживними властивостями порівняно з традиційною для виготовлення вафель. Оскільки для виробництва досліджуваної продукції взято виключно органічну сировину, це може позитивно вплинути на показники безпечності.

**Мета дослідження** полягає у розробленні нових рецептур вафель з органічної сировини з поліпшеним амінокислотним складом. Для досягнення поставленої мети виокремлені такі завдання дослідження:

- Розробити рецептури нових вафель з органічної сировини.
- Проаналізувати амінокислотний склад виробів.
- Дослідити амінокислотний скор розроблених зразків.

**Матеріали і методи.** У ході дослідження були розроблені дві рецептури вафель з начинками «Літня спокуса» та «Кокосова насолода». Контрольним зразком слугували вафлі «Артек». Основна відмінність розроблених вафель полягає в тому, що вони повністю виготовлені з органічної сировини.

Для розробки рецептур нових вафель було використано математичне моделювання рецептур.

Обмеження на сумарний вміст інгредієнтів у рецептурі визначали за формулою:

$$\sum_{i=1}^j x_i = 1000, \quad (1),$$

де  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, j$  — невідома кількість сировини  $i$ -го виду (г).

Технологічні умови забезпечення необхідного вмісту вологи у виробі мали такий вигляд:

$$0,05 \sum_{i=1}^j x_i \leq \sum_{i=1}^j \lambda_i x_i \leq 0,1 \sum_{i=1}^j x_i, \quad (2)$$

де  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, j$  — невідома кількість сировини  $i$ -го виду (г);

$\lambda_i$  — вміст води у 1 г  $i$ -го інгредієнта (г).

Додаткові умови збагачення нутрієнтами виробу, що проєктується, визначали у відсотках відносно добової потреби. Можливість підвищення харчової і біологічної цінності продуктів харчування і раціонів характеризується множинністю шляхів просування до заданої мети. Загальним методологічним прийомом до цього випадку є цільове комбінування рецептурних інгредієнтів, що забезпечує одержання харчових композицій із комплексом бажаних позитивних властивостей [13].

Зведені рецептури розроблених вафель на основі органічної сировини наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Рецептури вафель органічних (% у рецептурі вафель)

Сировина	«Літня спокуса»	«Кокосова насолода»
1	2	3
Борошно гречане органічне	30,10	0,00
Борошно рисове органічне	0,00	32,00
Цукор тростинний органічний	15,00	0,00

Продовження таблиці 1

1	2	3
Цукор кокосовий органічний	0,00	15,00
Сіль кухонна	0,10	0,10
Сода харчова	0,10	0,10
Масло вершкове органічне	27,00	26,20
Молоко сухе знежирене органічне	13,00	0,00
Молоко кокосове сухе органічне	0,00	13,60
Обліпихова олія органічна	9,40	0,00
Кокосова олія органічна	0,00	8,70
Порошок лемонграсу органічний	5,2	4,2

Органолептичні, фізико-хімічні показники та показники безпечності виробів були досліджені у попередніх наукових працях автора [11].

Амінокислотний склад проаналізовано методом іонообмінної рідинно-колонкової хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот Т339 виробництва «Мікротехніка», Чехія. Амінокислотний скор визначали відношенням кількості відповідної незамінної амінокислоти в 1 г білка вафельних тортів до регламентованого вмісту її в «ідеальному білку» за шкалою ФАО/ВООЗ [12].

**Результати і обговорення.** З метою поліпшення амінокислотного складу було обрано борошно рисове та борошно гречане як альтернатива пшеничному борошну. Також до рецептур вафель було додано молоко сухе знежирене і молоко кокосове сухе органічне.

У досліджуваних зразках вафель було визначено вміст білка, який склав: у вафлях «Артек» — 3,2 г / 100 г; у вафлях «Літня спокуса» — 6,2 г / 100 г; у вафлях «Кокосова насолода» — 4,9 г / 100 г. Вміст незамінних амінокислот у вафлях показано у табл. 2.

Таблиця 2. Вміст незамінних амінокислот у виробках мг / 100 г

Амінокислота	Контроль	«Літня спокуса»	«Кокосова насолода»
Валін	130	148	131
Ізолейцин	110	123	112
Лейцин	258	270	255
Лізин	109	126	132
Метіонін	58	78	65
Треонін	100	125	99
Фенілаланін	175	190	182

Як видно з табл. 2, вміст незамінних амінокислот покращився в обох зразках. Слід зазначити, що у зразку «Літня спокуса» вміст незамінних амінокислот збільшився особливо відчутно. Вміст лізину порівняно з контролем зріс на 15,5%, а треоніну — на 25%. У зразку «Кокосова насолода» кількість лізину збільшилась порівняно з контрольним зразком на 22%. Кращий амінокислотний склад мали вафлі на основі гречаного борошна органічного.

Амінокислотний скор — відсотковий вміст кожної з амінокислот щодо її вмісту у білку, прийнятому за стандарт (ідеальний білок). Визначення цього показника представлено у табл. 3.

Таблиця 3. Визначення амінокислотного скору білків розроблених вафель

Амінокислоти	Еталон ФАО/ВООЗ, мг / 1 г білка	Контроль		«Літня спокуса»		«Кокосова насолода»	
		вміст мг / 1 г білка	скор, %	вміст мг / 1 г білка	скор, %	вміст мг / 1 г білка	скор, %
Валін	50	41,60	83,20	71,76	143,52	64,20	128,40
Ізолейцин	40	35,20	88,00	66,30	165,75	54,90	137,25
Лейцин	70	82,60	118,00	97,40	139,14	94,95	135,60
Лізин	55	36,80	66,91	78,10	142,00	64,70	117,64
Метіонін	35	18,60	53,14	34,40	97,25	31,85	91,00
Треонін	40	32,00	80,00	55,50	138,70	48,51	121,28
Фенілаланін	60	56,00	93,33	97,80	163,00	87,18	145,30

Як видно з табл. 3, для контрольного зразка лімітованими були всі незамінні амінокислоти, крім лейцину. Проте у розроблених зразках скорі суттєво зросли. Попри це, метіонін все одно залишався лімітовано амінокислотою у розроблених зразках. Скор валіну збільшився у зразку «Літня спокуса» у 1,72 раза; у зразку «Кокосова насолода» — у 1,54 раза. Спостерігалось суттєве зростання скору фенілаланіну у зразку «Літня спокуса» — у 1,74 раза, а у зразку «Кокосова насолода» — в 1,55 раза.

**Висновки.** Завдяки методу математичного моделювання розроблено нові рецептури вафель з начинками «Літня спокуса» та «Кокосова насолода». Для розроблення запропонованих виробів обрано органічну сировину: борошно рисове, гречане, цукор кокосовий, молоко кокосове сухе, кокосова олія, обліпихова олія, порошок лимон-грасу. Вміст білка зріс в обох виробках, якщо порівняти з контролем. У зразку «Літня спокуса» вміст незамінних амінокислот збільшився особливо відчутно. Вміст лізину порівняно з контролем зріс на 15,5%, а треоніну — на 25%. У зразку «Кокосова насолода» кількість лізину збільшилась порівняно з контрольним зразком на 22%. Амінокислотний скор всіх амінокислот зріс у розроблених зразках. У зразках «Літня спокуса» та «Кокосова насолода» найбільшими були скорі амінокислот ізолейцин, фенілаланін, лейцин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Tkachenko A. Prospects of Ukraine on the European organic food products: Modern approaches to knowledge management development: collective monograph / A. Tkachenko. — Ljubljana School of Business, 2020. — P. 162—164. Режим доступу: <https://plus.si.cobiss.net/opac7/bib/18652419>.
2. Органічне виробництво в Україні [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://agro.me.gov.ua/ua/napryamki/organichne-virobnictvo/organichne-virobnictvo-v-ukrayini>.
3. Mie A. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review / A. Mie., A. Grunnarson, J. Kahl [at al.] // Environmental Health. — 2017. — № 16:111. — P. 2—22, DOI 10.1186/s12940-017-0315-4.
4. Сирохман І. В. Проблеми асортименту, якості і безпеки продуктів на вафельній основі: монографія / І. В. Сирохман, В. Т. Лебединець. — Львів, Вид-во Львівської комерційної академії, 2010. — 316 с.
5. Лозова Т. М. Наукове обґрунтування поліпшення споживних властивостей борошняних кондитерських виробів з використанням природної нетрадиційної сировини: монографія / Т. М. Лозова, І. В. Сирохман. — Львів: Видавництво Львівського торговельно-економічного університету, 2017. — 328 с.
6. Мотузка Ю. Ринок аналогів молочних продуктів рослинного походження: світові тренди / Ю. Мотузка, А. Кошельник // Ринкові дослідження. — 2019. — № 3. — С. 38—49, DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(31\)0](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(31)0).

7. Patil U. Coconut Milk and Coconut Oil: Their Manufacture Associated with Protein Functionality / U. Patil, S. Benjakul // Journal of Food Science. — 2019. — № 83. — P. 2019 — 2027, doi: 10.1111/1750-3841.14223.

8. Douglas S. Kalman. Amino Acid Composition of an Organic Brown Rice Protein Concentrate and Isolate Compared to Soy and Whey Concentrates and Isolates / Kalman Douglas S. // Foods. — 2014. — № 3. — P. 394—402. doi:10.3390/foods3030394.

9. Чоні І. В. Зміни харчової цінності гречаної та рисової крупів у процесі виробництва борошна як складового соусів емульсійного типу та нових продуктів харчування / І. В. Чоні // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПІ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2009. — № 8. — С. 15—18.

10. Halim J. M. Antioxidative characteristics of beverages made from a mixture of lemongrass extract and green tea / J. M. Halim, W. D. R. Pokatong, J. Ignacia // Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. — 2013. — Vol. 24, № 2. — P. 215—221. doi:10.6066/jtip.2013.24.2.215.

11. Tkachenko A. Development of Wafers With Fillings Made From Organic Raw Materials With Improved Consumer Properties / A. Tkachenko, I. Syrokhman, V. Skrypnyk, G. Birta, Y. Burgu // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2020. — 4(11), 106, p. 39—45. doi: 10.15587/1729-4061.2020.209695, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3725025>.

12. Сирохман І. В. Поліпшення споживчих властивостей і асортименту печива з використанням нетрадиційної сировини : монографія / І. В. Сирохман, А. С. Ткаченко. — Полтава: ПУЕТ, 2017. — 150 с.

13. Дудченко Н. В. Математичне моделювання овочевих консервів із заданими споживними властивостями / Н. В. Дудченко, В. С. Ольховська // Вісник НТУ «ХПІ». — 2013. — № 16(989). — С. 116—122.

## ИЗУЧЕНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ ВАФЕЛЬ

**А. С. Ткаченко**

*Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»*

*В статье проведен анализ аминокислотного состава новых вафель. Рецептуры вафель с начинками «Летний соблазн» и «Кокосовое наслаждение» разработаны методом математического моделирования. Рецептуры новых вафель отличаются тем, что они изготовлены полностью из органического сырья, а мука пшеничная заменена на рисовую и гречневую. Также в составе вафель присутствует сахар кокосовый, масло кокосовое и облепиховое, сухое молоко кокосовое, порошок лемонграсса. Аминокислотный состав в образцах исследован методом ионообменной жидкостно-колоночной хроматографии. В исследуемых образцах вафель было определено содержание белка, которое составило: в вафлях «Артек» — 3,2 г / 100 г, в вафлях «Летний соблазн» — 6,2 г / 100 г, в вафлях «Кокосовое наслаждение» — 4,9 г / 100 г. Лучшим аминокислотным составом отличался образец на основе гречневой органической муки. Образец «Кокосовое наслаждение» отличался более высоким содержанием лизина. В образцах «Летний соблазн» и «Кокосовое наслаждение» самыми высокими были скоры аминокислот (изолейцин, фенилаланин, лейцин).*

**Ключевые слова:** органическое сырье, вафли с начинками, аминокислотный состав, аминокислотный скор, незаменимые аминокислоты.

УДК 664.65:634.14

## INFLUENCE OF HENOMELES PROCESSING PRODUCTS ON THE PROCESS OF STEAMING YEAST PRODUCTS

**G. Khomych, Y. Levchenko, A. Horobets***Poltava University of Economics and Trade***Key words:**

chaenomeles,  
juice,  
puree,  
pomace,  
powder,  
extract,  
organic acids,  
fragility,  
potato diseases

**Article history:**

Received 14.07.2021

Received in revised form

12.09.2021

Accepted 29.09.2021

**Corresponding author:**

bilyklenna@gmail.com

**ABSTRACT**

The aim of the work is to determine the influence of chaenomeles secondary products on the processes of hardening of yeast products and change of microbiological contamination during storage.

The optimal prescription amount of cheanomeles processing products (juice, puree, extract, powder) recommended for yeast products has been established. According to the results of the chemical composition of chaenomeles and its secondary products, the main physicochemical parameters of plant raw materials were determined: the content of pectin substances (0.82...1.82%), which affect the water absorption, elasticity of the dough, increase the volume and shape stability products that slow down hardening; organic acids (4...5%), which contribute to the intensification of the technological process and prevent the development of potato disease products; phenolic substances (410...1200 mg / 100 g) and *L*-ascorbic acid (50...200 mg / 100 g), which are powerful antioxidants and increase the biological value of finished products. The obtained products from yeast dough are characterized by increased biological value and improved physical and chemical properties. High indicators of fragility confirm the positive effect of fruit additives on the hydrophilic properties of the dough and determine the possibility of prolonged storage of finished products. It is established that products with chaenomeles secondary products are characterized by higher deformation characteristics during the whole shelf life. During the five-day storage, the control sample lost 39% fresh, while products with chaenomeles processing products lost 21...23%. The results of microbiological studies indicate the absence of the causative agent of *Escherichia coli* in products using products of processing chaenomeles. The antibacterial properties of processed products have been studied and the possibility of storing finished yeast dough products using chaenomeles processing products for up to five days has been shown.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-4

## ВПЛИВ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ХЕНОМЕЛЕСУ НА ПРОЦЕС ЧЕРСТВІННЯ ДРІЖДЖОВИХ ВИРОБІВ

Г. П. Хомич, д-р техн. наук

О. М. Горобець, канд. техн. наук

Ю. В. Левченко, канд. техн. наук

ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

*У статті досліджено вплив продуктів переробки хеномелесу на процеси черствіння виробів з дріжджового тіста, а також зміни мікробіологічної контамінації при зберіганні.*

*Визначено раціональну концентрацію продуктів переробки хеномелесу (сік, пюре, екстракт, порошок), рекомендовану до рецептури виробів з дріжджового тіста. Дослідження показників крихкості підтверджують позитивний вплив фруктових добавок на гідрофільні властивості тіста і обумовлюють можливість пролонгованого зберігання готових виробів. Встановлено, що вироби з продуктами переробки хеномелесу характеризуються більш високими деформаційними характеристиками протягом усього терміну зберігання. Протягом п'ятиденного зберігання контрольний зразок втратив свіжість на 39%, тоді як вироби з продуктами переробки хеномелесу — на 21...23%. Результати мікробіологічних досліджень свідчать про відсутність збудника картопляної палички у виробах з використанням продуктів переробки хеномелесу. Досліджено антибактеріальні властивості продуктів переробки і підтверджено можливість зберігання готових виробів з дріжджового тіста з використанням продуктів переробки хеномелесу до п'яти діб.*

**Ключові слова:** хеномелес, сік, пюре, вичавки, порошок, екстракт, органічні кислоти, крихкість, картопляна хвороба.

**Постановка проблеми.** Хлібобулочні вироби є групою висококалорійної продукції, яка традиційно користується в Україні підвищеним попитом і популярністю серед усіх верств населення. Споживання хлібобулочних виробів людиною у різних країнах світу різне і коливається в межах від 150 до 500 грамів на день. В умовах економічної кризи та нестабільності споживання хліба зростає, оскільки це дешева їжа. Вживаючи хліб та хлібобулочні вироби, людина може задовольнити половину своїх потреб у вуглеводах та вітамінах групи В, а також третину — у білках.

Однак черствіння хліба — неминучий процес під час його зберігання, що призводить до зменшення та втрати споживчих властивостей. Подовження терміну зберігання виробів із дріжджового тіста — важливе завдання для практиків і науковців. З давніх часів у тісто додавали різні речовини та добавки, що певною мірою уповільнювали цей процес.

Дослідження провідних вітчизняних вчених спрямовані на використання ферментів і солодових препаратів для уповільнення процесу черствіння [1; 2].

Зміни якості хлібобулочних виробів, які проходять під час зберігання, є результатом складних фізико-хімічних, колоїдних і біохімічних процесів, що відбуваються у вуглеводах та білках. Черствіння хлібобулочних виробів залежить від багатьох факторів: виду та сорту борошна, форми та способу приготування, а також умов зберігання.

Для запобігання зміни показників якості хлібобулочних виробів у світовій практиці використовуються складні поліпшувачі якості, які включають також різні харчові добавки з характерними багатофункціональними властивостями. Вибір виду поліпшувача та його кількість залежить від хлібопекарських характеристик борошна, способу приготування тіста та рецептури.

Ефективним заходом для подовження терміну зберігання хліба й уповільнення процесу його черствіння є використання нетрадиційної сировини та природних добавок, які одночасно підвищують харчову цінність хліба і збагачують його важливими для життя людини речовинами [3].

У процесі зберігання дріжджових виробів з пшеничного борошна виникає також проблема, пов'язана з розвитком цвілі та «картопляних» хвороб. Тому перспективним є напрямок, пов'язаний з пошуком рослинних добавок, які можуть прискорити процес бродіння, уповільнити черствіння, пригнітити розвиток шкідливих мікроорганізмів, і при цьому бути безпечними та природними джерелами рослин.

Хеномелес містить у своєму складі значну кількість пектинових речовин, *L*-аскорбінової кислоти, органічних кислот (хінна, яблучна), поліненасичених жирних кислот (олеїнова, ленолева), карбонових кислот (капронова, лауринова, пальмітолеїнова), фенольних речовин (проціанідін, рутин, хлорогенова кислота), ароматичних речовин (естрагол) [4; 5]. Хеномелес і продукти його переробки, завдяки їх хімічному складу, доцільно використовувати як поліпшувач фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей борошняних виробів з дріжджового тіста, для інтенсифікації процесу бродіння й уповільнення черствіння готових виробів.

**Метою статті** є встановлення впливу продуктів переробки хеномелесу, внесених у тістову систему, на процес черствіння готових виробів з дріжджового тіста.

**Матеріали і методи.** Для проведення досліджень використовували сортосуміш плодів хеномелесу, зібраних у Полтавській області.

Дослідження проводили з використанням стандартних методів аналізу [6; 7]. Якість готових виробів контролювали за органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками [8; 9].

Результати експериментальних досліджень піддавалися статистичній обробці з використанням стандартних пакетів програм Microsoft Office.

**Результати дослідження.** До рецептури виробів з дріжджового тіста вносили хеномелес у вигляді соку та пюре, а також порошку та водного екстракту з вичавок, отриманих після вилучення соку.

Сік отримували шляхом прямого пресування подрібнених плодів, пюре — протиранням, попередньо пробланшованих у воді плодів, порошок — подрібненням до розміру часток 160 мкм, попередньо висушених при температурах 55—60°C вичавок, екстракт — екстрагуванням вичавок водою при температурі 50°C.

Попередніми дослідженнями було визначено основні фізико-хімічні показники хеномелесу та продуктів його переробки, серед них особливо цінні пектинові речовини, вміст яких коливається залежно від продукту переробки в діапазоні 0,82...1,82%, вони покращують водопоглинальну здатність та еластичність тіста, збільшують об'єм і формостійкість виробів, а також уповільнюють їх черствіння; органічні кислоти (4...5%), які впливають на титровану кислотність і рН тіста, що сприяє інтенсифікації технологічного процесу та запобігає розвитку картопляної хвороби виробів; фенольні речовини (410...1200 мг / 100 г) та *L*-аскорбінова кислота (50...200 мг / 100 г), які є потужними антиоксидантами і підвищують біологічну цінність готових виробів [10].

Підготовлені продукти переробки хеномелесу при виготовленні дріжджового тіста вносили на стадії замішування тіста у визначених концентраціях: сік або екстракт у кількості 10% та 30% від маси води, а пюре або порошок у кількості 7,5% та 1,5% від маси борошна відповідно.



За органолептичними показниками отримані вироби відрізнялись приємним смаком, світлішим м'якушем і приємним фруктовим ароматом, властивим хеномелесу завдяки вмісту в ньому ароматичних речовин, таких як нонаналь,  $\alpha$  і  $\beta$ -терпеніол, естрагол.

Внесення до рецептури виробів з дріжджового тіста продуктів переробки хеномелесу надало можливість скоротити тривалість бродіння тіста до двох годин, а також підвищити показники пористості, формостійкості, питомого об'єму, що впливає на кращу засвоюваність виробів в порівнянні з контролем [10].

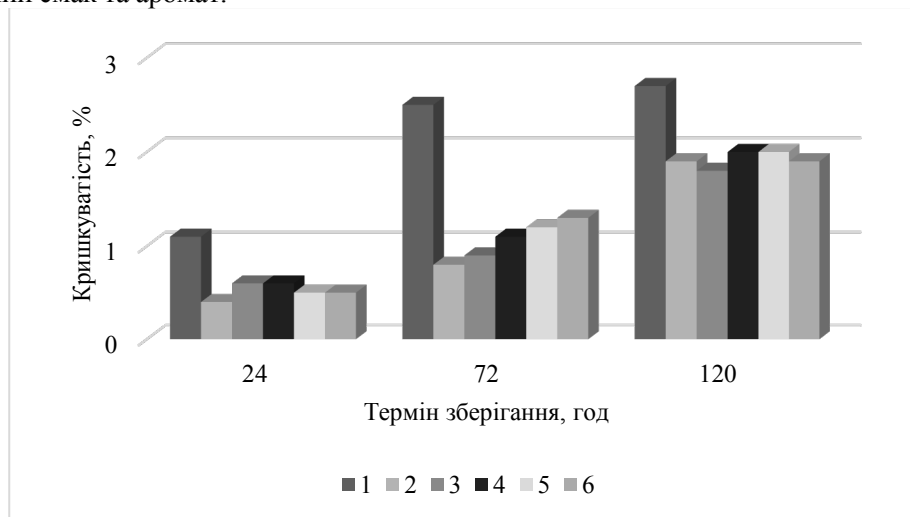
Свіжість борошняних виробів з дріжджового тіста є одним з основних показників їх якості. Однак у процесі зберігання відбувається їх черствіння й усихання, що знижує показники якості дріжджових виробів. Вони стають твердішими, кришкуватими, зменшується їх еластичність, втрачаються смак і аромат, знижуються споживчі властивості [11—13].

Зміна властивостей борошняних виробів під час зберігання пов'язана зі складними фізико-хімічними, колоїдними та біохімічними процесами, що відбуваються в складових борошняних виробів, та втратою води.

Основні процеси черствіння пов'язані зі зміною стану крохмалю та білкових речовин виробів [7—9].

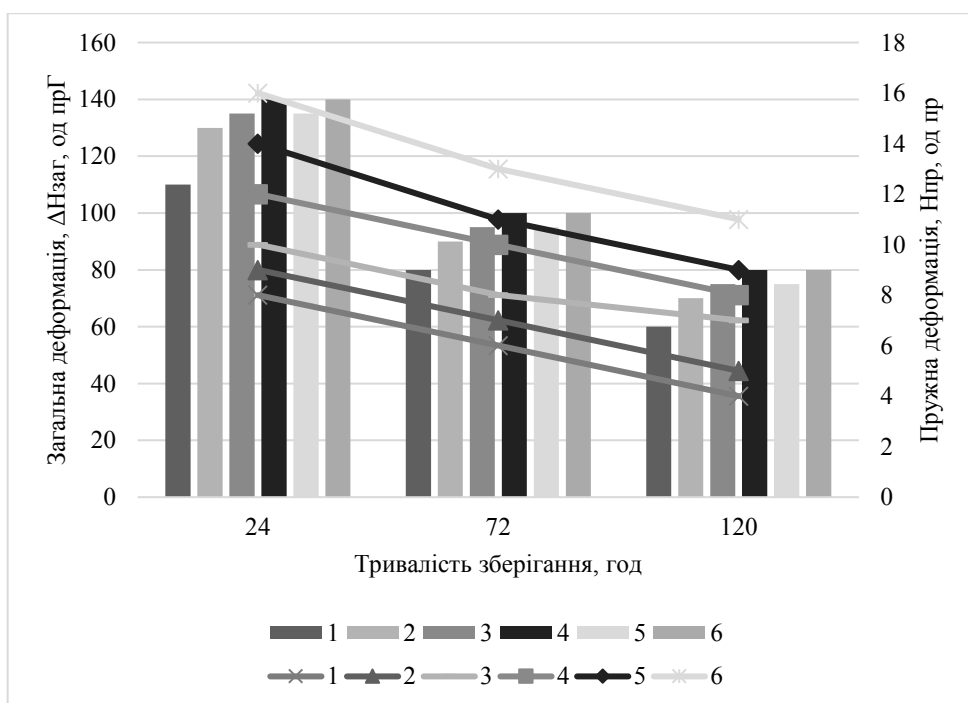
Вплив продуктів переробки хеномелесу на процес черствіння готових виробів досліджували шляхом визначення показників кришкуватості (рис. 1) та загальної і пружної деформації готових виробів (рис. 2).

Результати проведених досліджень (рис. 1) підтверджують, що дослідні зразки мають менші показники кришкуватості порівняно з контролем, що пояснюється підвищеною вологістю зразків, зумовленою наявністю у складі добавки харчових волокон та пектинових речовин, які поглинають та зв'язують воду, перешкоджаючи її швидкому виділенню, зменшуючи таким чином ретроградацію крохмалю. Дослідні зразки на 5 добу зберігання залишалися м'якими та еластичними, мали приємний смак та аромат.



**Рис. 1. Зміна показника кришкуватості в залежності від виду та кількості добавки:**

1 — контроль; 2 — виріб з соком; 3 — виріб з водним екстрактом з сирих вичавок; 4 — виріб з водним екстрактом з сухих вичавок; 5 — виріб з пюре; 6 — виріб з порошком з вичавок



**Рис. 2. Зміни структурно-механічних властивостей м'якушки виробів в процесі зберігання:** 1 — контроль; 2 — виріб з соком; 3 — виріб з водним екстрактом з сирих вичавок; 4 — виріб з водним екстрактом з сухих вичавок; 5 — виріб з пюре; 6 — виріб з порошком з вичавок

Аналіз отриманих даних (рис. 2) показав, що вироби з продуктами переробки хеномелесу характеризуються більш високими деформаційними характеристиками протягом усього терміну зберігання. Протягом п'ятиденного зберігання контрольний зразок втратив свіжість на 39%, тоді як вироби з продуктами переробки хеномелесу на 21...23%. Під час усього терміну зберігається тенденція до підвищеного показника пластичності у дослідних зразках з продуктами переробки хеномелесу, якщо порівняти з контролем. Цей факт дає змогу стверджувати, що позитивний ефект, імовірно, пояснюється не лише наявністю в продуктах переробки пектинових речовин, а й значним вмістом органічних кислот. Отримані результати узгоджуються з попередньо отриманими даними кришкуватості й обумовлюють можливість пролонгованого зберігання.

Для підтвердження безпечності пролонгованого терміну зберігання дослідних зразків було проведено мікробіологічне дослідження отриманих зразків, тому що підвищена вологість є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів.

Основною причиною псування дріжджових виробів є накопичення патогенної мікрофлори [14—16]. Аналіз якісного та кількісного складу мікрофлори проводили на модельних зразках виробів після 24, 72 і 120 год зберігання. Дослідження мікробіологічних показників якості розроблених борошняних виробів проводили в лабораторії мікробіології Полтавського університету економіки і торгівлі згідно зі стандартними методиками. Результати дослідження мікробіологічних показників контрольної і дослідних зразків наведені у табл. 1.

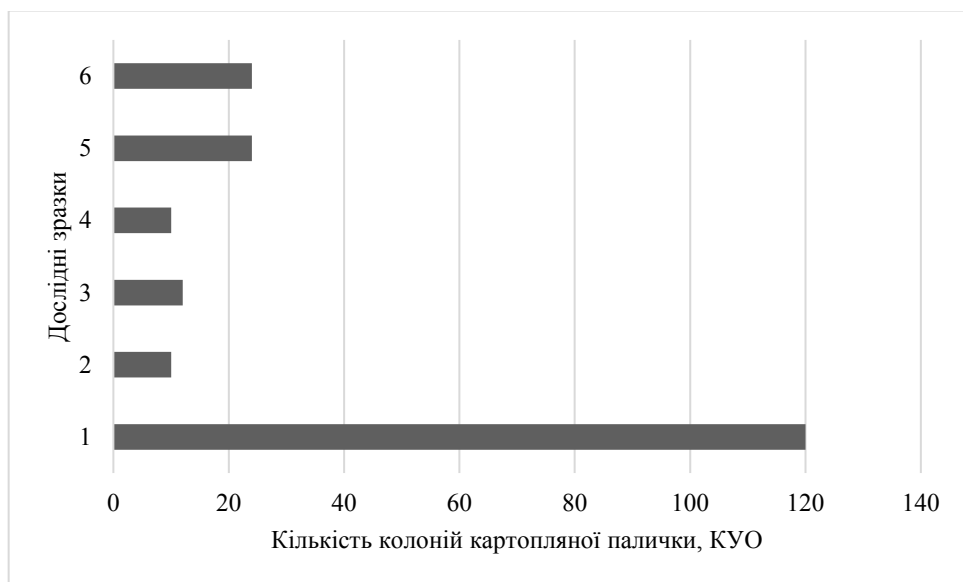
Таблиця 1. Мікробіологічні показники зразків під час зберігання  
( $n=3$ ,  $p \leq 0,95$ )

Показники	Норма за МБТіСН № 5061-89	Найменування зразка	Тривалість зберігання, діб		
			1	3	5
КМАФАнМ, КУО/г	не більше $1 \times 10^3$	контроль	$5,7 \times 10^2$	$9,9 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$
		з 7,5% пюре	$2,6 \times 10^2$	$3,7 \times 10^2$	$5,1 \times 10^2$
		з 10% соку	$2,5 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$4,1 \times 10^2$
		з 40% екстракту	$2,8 \times 10^2$	$3,9 \times 10^2$	$5,1 \times 10^2$
		з 30% екстракту	$2,9 \times 10^2$	$4,1 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$
		з 1,5% порошку	$3,5 \times 10^2$	$4,8 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$
БГКП (коліформи), КУО/0,1 г	не допускається	контроль	в 0,1 г не виявлено		
		з 7,5% пюре			
		з 10% соку			
		з 40% екстракту			
		з 30% екстракту			
		з 1,5% порошку			
Патогенні МО, у т. ч. бактерії роду <i>Salmonella</i> , КУО/25 г	не допускається	контроль	в 0,1 г не виявлено		
		з 7,5% пюре			
		з 10% соку			
		з 40% екстракту			
		з 30% екстракту			
		з 1,5% порошку			
Плісняві гриби, дріжджі, КУО/г	не більше $1 \times 10$	контроль	$1,0 \times 10$	$1,5 \times 10$	$2,1 \times 10$
		з 7,5% пюре	$0,1 \times 10$	$0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$
		з 10% соку	$0,1 \times 10$	$0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$
		з 40% екстракту	$0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$	$0,2 \times 10$
		з 30% екстракту	$0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$	$0,2 \times 10$
		з 1,5% порошку	$0,1 \times 10$	$0,2 \times 10$	$0,3 \times 10$

Встановлено (табл. 1), що мікробіологічні показники дослідних зразків упродовж п'ятиденного зберігання не перевищують допустимих рівнів, незважаючи на підвищену вологість виробів. Імовірно, що підвищена кислотність виробів виявляє пригнічуючий вплив на розвиток патогенної мікрофлори в дослідних зразках. За результатами проведених хроматографічних досліджень у хеномелесі та продуктах його переробки виявлено карбонові кислоти (лауринової, каприлової та пальмітолеїнової), які володіють антимікробними й антибактеріальними властивостями, що дає змогу використовувати їх як природні консерванти.

Досліджено вплив добавок на розвиток збудників картопляної хвороби споротворюючих бактерій *Bac. mesentericus* і *Bac. subtilis*, які володіють комплексом активних амілолітичних (у тому числі  $\alpha$ -амілаза) і протеолітичних (протеїназа, поліпептидаза, дипептидаза) ферментів, дія яких викликає специфічні зміни м'якушки виробу. Результати отриманих досліджень наведені на рис. 3.

Визначено (рис. 3), що при використанні продуктів переробки хеномелесу значно пригнічується розвиток збудників картопляної хвороби. В дослідних зразках із внесенням продуктів переробки хеномелесу порівняно з контролем кількість КУО картопляної палички зменшилась на 80%.



**Рис. 3. Ріст колоній картопляної палички на середовищі МПА:** 1 — контроль; 2 — виріб з соком; 3 — виріб з екстрактом з сирих вичавок; 4 — виріб з екстрактом з сухих вичавок; 5 — виріб з пюре; 6 — виріб з порошком з вичавок

Отже, проведені фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні дослідження доводять доцільність використання продуктів переробки хеномелесу в технології виробництва дріжджових виробів і їх позитивний вплив на якість і безпечність розроблених виробів протягом пролонгованого терміну зберігання.

**Висновки.** Отримані результати свідчать, що внесення до рецептури дріжджових виробів продуктів переробки хеномелесу (соку, пюре, порошку та екстракту з вичавок) позитивно впливає на органолептичні та фізико-хімічні показники готових виробів, надає можливість продовжити тривалість їх зберігання, зменшити ризик виникнення картопляної хвороби та інших видів мікробіологічного псування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Дробот В. І. Дослідження впливу добавок на процес черствіння хліба / В. І. Дробот, Т. А. Сильчук, Ю. В. Бондаренко // Харчова наука і технологія. — 2012. — № 1. — С. 56—58.
2. Лебеденко Т. Є. Сучасні погляди щодо удосконалення технології приготування хліба / Т. Є. Лебеденко, О. М. Кананихіна, Н. Ю. Соколова, О. І. Юрескул // Наукові праці ОНАХТ. — Вип. 36, Том 1, 2009. — С. 225—228.
3. Мозговая О. И. Анализ рынка кондитерских изделий / О. И. Мозговая, С. Г. Заболотный // УкрАгроКонсалт. — 2009. — № 3. — С. 8.
4. Hui Du, Jie Wu, Hui Li, Pei-Xing Zhong, Yan-Jun Xu, Chong-Hui Li, Kui-Xian Ji, Liang-Sheng Wang Polyphenols and triterpenes from Chaenomeles fruits: Chemical analysis and antioxidant activities assessment Food Chemistry. — 2013. — 141. — P. 4260—4268.
5. Khomych G. The study of biologically active substances of chaenomeles and the products of its processing / G. Khomych, A. Horobetc, Y. Levchenko, A. Boroday, N. Ishchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies — 2016. — Vol. 4/11(82). — P. 29—36.
6. Пучкова Л. И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. 4-ое изд., перераб. и доп. / Л. И. Пучкова. — СПб.: ГИОРД, 2004. — 264 с.
7. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників; введ. 2010-01-01. — Вид. офіц. — К.: Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України, 2010. — 38 с.

8. ГОСТ 10444.15-94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.
9. Грегірчак Н. М. Мікробіологія харчових виробництв: Лаборатор. практикум / Н. М. Грегірчак. — К: НУХТ, 2009. — 302 с.
10. Горобець О. М. Удосконалення технології виробів з дріжджового тіста з використанням хеномелесу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.16 «технологія продуктів харчування» / Горобець Олександра Михайлівна — Одеса, 2017. — 20 с.
11. Семенец О. Черствение хлеба и борьба с этим явлением / О. Семенец // Хлебопекарское и кондитерское Дело. — 2010. — № 2. — С. 12, 13.
12. Gray, J. A. Bread Staling: Molecular Basis and Control / J. A. Gray, J. N. Bemiller // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. — 2003. — Vol. 2, Issue 1. — pp. 1—21: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x/epdf>.
13. Тадей, С. Черствіння хліба: оновлення переглянути / С. Тадей, А. М. Сангінетті, А. Дель Каро [та ін] // Всебічні огляди у харчовій промисловості та продовольчій безпеці. — 2014. — Вип. 13, Випуск 4. — с. 473—492.
14. Smith, J. Shelf life and safety concerns of bakery products / J. Smith, D. Daifas // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. — 2004. — Vol. 44, No. 1. — P. 19—25.
15. Коломникова Я. П. Технологические приемы по предупреждению заболеваний хлебо-булочных изделий / Я. П. Коломникова // Хлебопродукты. — 2009. — № 3. — С. 51—53.
16. Рахмонов, К. С. Картофельная болезнь хлеба и способ ее предотвращения / К. С. Рахмонов // Хлебопечение России. — 2014. — № 5. — С. 37—38.

## ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ХЕНОМЕЛЕСА НА ПРОЦЕСС ЧЕРСТВЕНИЯ ДРОЖЖЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Г. А. Хомич, А. М. Горобец, Ю. В. Левченко

ВУЗ Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»

*В статье изучено влияние продуктов переработки хеномелеса на процессы черствения изделий из дрожжевого теста, а также изменение микробиологической контаминации при хранении.*

*Определено рациональную концентрацию продуктов переработки хеномелеса (сок, пюре, экстракт, порошок,) рекомендуемую в рецептуру изделий из дрожжевого теста. Исследование показателей крошкости подтверждает положительное влияние фруктовых добавок на гидрофильные свойства теста и возможность пролонгированного хранения готовых изделий. Установлено, что изделия с продуктами переработки хеномелеса характеризуются повышенными деформационными характеристиками при хранении. За период пятидневного хранения контрольный образец потерял свежесть на 39%, тогда как изделия с продуктами переработки хеномелеса на 21...23%. Результаты микробиологических исследований свидетельствуют об отсутствии возбудителя картофельной палочки в изделиях с использованием продуктов переработки хеномелеса. Исследованы антибактериальные свойства продуктов переработки и показана возможность хранения готовых изделий из дрожжевого теста с их использованием продуктов переработки хеномелеса в течение пяти суток.*

**Ключевые слова:** хеномелес, сок, пюре, выжимки, порошок, экстракт, органические кислоты, крошкость, картофельная болезнь.

УДК 664.14

# STUDY OF BEHAVIOR OF NON-GLAZED FONDANT SWEETS WITH PARTIAL REPLACEMENT OF SUGAR BY POLYDEXTROSE DURING THEIR STORAGE

**O. Onofriichuk, O. Kokhan, Yu. Kambulova, L. Martsynkevych***National University of Food Technologies***Key words:**

fondant mass,  
polydextrose,  
carboxymethylcellulose,  
moisture-retaining agent,  
crystallization,  
structural-mechanical  
properties,  
water activity,  
packaging,  
shelf life

**Article history:**

Received 09.04.2021

Received in revised form  
28.05.2021

Accepted 07.06.2021

**Corresponding author:**

ksusha.onofriychuk@  
gmail.com

**ABSTRACT**

The article considers the problem of deteriorating quality of unglazed fondant candies during storage due to the desorption processes in them. Possible ways to solve this problem are analyzed. It is proposed to use in the unglazed fondant candies technology of dietary fiber — polydextrose as a moisture-retaining component. The world experience of using this dietary fiber in food technology is analyzed and our own developments in the direction of improving the technology of fondant candies are presented, in which 30% of sucrose has been replaced by polydextrose. It is noted that the developed products have low caloric content and glycemicity.

The paper presents the results of research on changes in physicochemical and structural-mechanical properties of unglazed fondant candies, made with 30% replacement of sucrose by polydextrose, during storage. To achieve this goal, standard physicochemical, structural and mechanical research methods were used, as well as X-ray diffraction analysis was applied and sorption-desorption properties of candy samples were studied, and their water activity index was determined.

The results of research have shown that the partial replacement of sugar in the formulation of fondant sweets with dietary fiber polydextrose has a positive effect on maintaining the quality of fondant candies during storage. According to the obtained results, it was found that the values of water activity, drying index and plastic strength of samples with polydextrose are lower compared to the control sample of fondant sweets. The addition of polydextrose slows down the process of hardening of product, as evidenced by the results of sorption-desorption properties of the studied samples. The paper presents studies on the influence of the packaging method on slowing down the drying process of fondant sweets, it is established that a rational way of packaging finished products with polydextrose is a hermetic packaging method “flow-pack”.

The use of polydextrose in the technology of unglazed fondant sweets has a positive effect on extending the shelf life of unglazed fondant and gives them the status of a food product with low glycemic index.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-5

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ НЕГЛАЗУРОВАНИХ ПОМАДНИХ ЦУКЕРОК З ЧАСТКОВОЮ ЗАМІНОЮ ЦУКРУ НА ПОЛІДЕКСТРОЗУ ПІД ЧАС ЇХ ЗБЕРІГАННЯ

О. С. Онофрійчук

О. О. Кохан, канд. техн. наук

Ю. В. Камбулова, д-р техн. наук

Л. В. Марцинкевич

Національний університет харчових технологій

*У статті наведено результати досліджень зміни фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей неглазурованих помадних цукерок, виготовлених із 30-відсотковою заміною сахарози на полідекстрозу, під час їх зберігання. Результати досліджень показали, що часткова заміна цукру в рецептурі помадних цукерок на харчове волокно полідекстрозу позитивно впливає на збереження якості помадних цукерок у процесі зберігання. Згідно з отриманими результатами встановлено, що значення активності води, показника усихання та пластичної міцності зразків з полідекстрозою нижчі порівняно з контрольним зразком помадних цукерок. Використання полідекстрози в технології неглазурованих помадних цукерок має позитивний вплив на подовження терміну зберігання неглазурованих помадних цукерок і надає їм статусу харчового продукту з низьким показником глікемічності.*

**Ключові слова:** помадна маса, полідекстроза, карбоксиметилцелюлоза, вологоутримувальний агент, кристалізація, структурно-механічні властивості, показник активності води, упаковка, термін зберігання.

**Постановка проблеми.** На сьогодні ринок кондитерських виробів представлений різноманітним асортиментом солодкої продукції, що характеризується оригінальним рецептурним складом і різним терміном зберігання. В умовах ринкової економіки для забезпечення попиту вибагливих споживачів і стабільного збуту кондитерських виробів необхідними умовами є підвищення їх якості, перш за все органолептичних показників, що формують споживчі властивості, а також подовження термінів зберігання продукції, що є основною передумовою її конкурентоспроможності [1].

Серед кондитерських виробів великою популярністю як серед дорослих, так і серед дітей користуються помадні цукерки. Ці вироби виготовляються на основі напівфабрикату — цукрової, молочної чи фруктові помадної маси. Помадна маса — це продукт кристалізації сахарози з її пересичених цукрово-патокових або цукрово-патоково-молочних сиропів у вигляді кристалів, розміри яких не перевищують 12—20 мкм. Оскільки в рецептурному складі помадної маси представлена лише натуральна сировина вітчизняного виробництва — такі вироби мають відносно невисоку вартість та гарні органолептичні властивості і при нормованому споживанні не матимуть негативного впливу для здоров'я споживачів. Однак основним недоліком помадної маси, а також цукерок, які виготовлені на основі помади, є те, що їм під час зберігання притаманні десорбційні явища, які призводять до погіршення споживчих показників виробів, тобто вони досить швидко висихають — «черствіють». Особливо швидко цей процес відбувається в неглазурованих помадних цукерках.

Проблемою подовження терміну зберігання помадних цукерок, шляхом гальмування процесу «черствіння» помадних мас займалися і продовжують займатися

фахівці кондитерської галузі. Пропонується багато шляхів вирішення цієї проблеми, переважно пов'язаних із застосуванням різноманітних рецептурних інгредієнтів, які б уповільнювали процес інтенсивного висихання, але й на сьогодні це питання залишається актуальним тим, що потребує вирішення.

Для подовження термінів зберігання помадних цукерок потрібно підходити комплексно і використовувати всі наявні шляхи її вирішення, а саме:

- внесення до рецептури виробів функціонального інгредієнта, дія якого була б направлена на уповільнення процесу десорбції цукерок;
- використання раціональних пакувальних матеріалів і способів пакування [2].

З метою подовження терміну зберігання неглазурованих помадних цукерок запропоновано використовувати вологоутримувальний агент — інноваційне харчове волокно полідекстрозу. Вибір саме цього компонента обумовлений ще й функціональними характеристиками полідекстрози.

Полідекстро́за — це високомолекулярний полімер, який забезпечує об'ємні та відповідні текстурні властивості, що робить її перспективним замінником традиційного цукру, оскільки вона не має насиченого солодкого смаку та високої калорійності порівняно із сахарозою. Калорійність полідекстрози становить лише 1 ккал/г, що відповідає четвертій частині калорійності сахарози. Водночас полідекстро́за є незасвоюваним полісахаридом і проявляє пребіотичні властивості [3]. Вона характеризується високою розчинністю, яка є вищою, ніж у більшості моно- та дисахаридів, поліолів, а також багатьох полісахаридів. Розчинність впливає на смакові якості і текстуру харчових продуктів. Полідекстро́за характеризується високою стійкістю розчинів до зміни рН середовища і температури, що дає змогу застосовувати її в різних видах харчових продуктів і здійснювати температурне оброблення продукції. Полідекстро́за вважається ефективним вологоутримувальним агентом, що робить її використання доволі перспективним у рецептурах кондитерських виробів, яким під час зберігання притаманні десорбційні процеси [4].

Використовуючи полідекстро́зу, можна розробляти харчові продукти різного функціонального направлення: збагачення виробів харчовими волокнами, зниження калорійності, зниження показника глікемічності, а також зниження у výroбах вмісту цукру та жиру. Все це наразі є актуальним і затребуваним у споживача.

Полідекстро́за може слугувати як цукрозамінником, так і замінником жиру [5]. Показано, що заміна цукру на полідекстро́зу у технології пісочного печива дає змогу отримати вироби з оптимальною твердістю, ламкістю та когезивністю, що мало відрізняються від виробів із сахарозою. Використання цього цукрозамінника в кексах збільшує температуру клейстеризації крохмалю і майже не змінює температуру денатурації білків.

Найбільш прогресивним методом виробництва шоколаду із зниженою калорійністю вважається спосіб, за яким цукор і частина жирів замінюється на суміш полідекстро́зи, мальтодекстрину та інуліну. Використання такої суміші дає змогу виготовляти вироби з відмінними органолептичними характеристиками без зміни технологічних параметрів виробництва [3].

Полідекстро́за застосовується у виробництві заморожених десертів, які характеризуються відмінним смаком і рівною поверхнею. Оскільки водні розчини полідекстро́зи мають більшу в'язкість, ніж розчини сахарози і поліолів за тієї ж концентрації, морозиво, виготовлене з полідекстро́зою, має більш кремову текстуру [6]. Полідекстро́за є важливим інгредієнтом у безалкогольних і молочних напоях, зокрема в нейтральних і ароматизованих, з низьким рН, пастеризованих і оброблених ультрависокою температурою. Полідекстро́за, відіграючи в цих výroбах роль харчових



волокон, покращує їх харчову цінність. Вона надає молочним напоям відчуття смаку тих виробів, що містять значну кількість жирів. Ця властивість є дуже важливою при виробництві молочних напоїв з низьким вмістом жирів. [7].

В Україні також є розробки низькокалорійних харчових продуктів з використанням цього харчового волокна. В НУХТ було розроблено низькокалорійний кисломолочний продукт із застосуванням полідекстрази [8]. Встановлено, що оптимальною дозою внесення полідекстрази є 2—3% до загальної маси продукту, що забезпечує утворення міцного згустка, зменшує час сквашування та продовжує термін придатності готового продукту. Авторами [9] запропонована технологія фруктово-желейного мармеладу зниженої калорійності за рахунок часткової заміни цукру полідекстразою. Встановлено, що зменшити кількість цукрів з урахуванням деформації та солодкості мармеладу можливо до 35 г / на 100 г.

Вчені ОНАХТ дослідили вплив полідекстрази на групу пастило- мармеладних виробів [10]. Було виявлено, що застосування в рецептурі пастило-мармеладних виробів комплексу цукрозамінників із фруктози та полідекстрази дає змогу розширити асортимент дієтичних кондитерських виробів. При цьому спостерігалось покращення їх структурно-механічних та органолептичних показників якості.

На вітчизняному ринку представлені такі імпортовані харчові продукти з полідекстразою: високобілкове печиво «PRIMEBAR», протеїнові вафлі та шоколадні батончики «Atkins», протеїнові батончики «Protein Cake Bites».

З метою зниження калорійності та показника глікемічності помадних цукерок проведені дослідження по частковій заміні цукру в рецептурі цих цукерок полідекстразою. Було встановлена технологічна необхідність введення в рецептуру помадних цукерок з полідекстразою як загусника карбоксиметилцелюлози, що вже гарно зарекомендувала себе в технології цукерок [11]. У результаті цих досліджень розроблено неглазуровані помадні цукерки «Ноктюрн», в яких 30% сахарози було замінено на полідекстразу [ 12; 13]

Отримані вироби мали високі показники якості у день виготовлення, їх калорійність була на 16% нижчою порівняно з контрольним зразком, а показник глікемічності розроблених виробів становить 39,0 од, що дає змогу позиціонувати їх як солодощі з низьким показником глікемічності ( $ПГ < 55$  од).

Для прогнозування поведінки цукерок під час зберігання доцільно провести серію досліджень з визначення впливу внесеного в рецептуру виробів харчового волокна — полідекстрази та гідроколіду карбоксиметилцелюлози на зміну показників якості неглазурованих помадних цукерок у процесі їх зберігання.

**Мета дослідження:** дослідити поведінку помадних цукерок, виготовлених із частковою заміною сахарози на полідекстразу під час їх зберігання.

**Матеріали і методи.** Проводилися дослідження зразків помадних цукерок, в яких 30% сахарози було замінено на харчове волокно полідекстрази.

На основі досліджень було встановлено оптимальне співвідношення компонентів,%:

- цукор білий кристалічний	- 52,0—65,0;
- полідекстроза	- 14,0—24,0;
- патока крохмальна	- 8,0—11,0;
- какао-порошок	- 3,25—7,75;
- жировий компонент	- 2,0—12,0;
- вологоутримувальний агент	- 0,25—0,75.

З метою вивчення впливу часткової заміни цукру білого кристалічного харчовим волокном на поведінку цукерок під час зберігання було проведено визначення фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей цукерок під час зберігання.

Визначення фізико-хімічних показників готової продукції проводили загальноприйнятими в кондитерському виробництві методами [14]. Визначення структурно-механічних показників готових виробів проводили на структурометрі СТ-1. Для визначення пластичної міцності зразків помадних цукерок використовували режим роботи структурометра № 6, насадку — конус з кутом  $45^\circ$  і такі параметри: швидкість переміщення столика вгору  $V = 65$  мм/хв; глибину занурення інструмента  $H = 7$  мм; тривалість занурення конуса  $\tau = 10$  с [15]. Визначення черствіння помадних цукерок проводили за допомогою порошкового дифрактометра «ДРОН УМ - 1» шляхом отримання повної або часткової рентгенограми в результаті сканування зразка по кути  $\theta$  між площиною зразка і первинним потоком [16]. Визначення сорбційно-десорбційних властивостей цукерок здійснювалося ваговим методом при зберіганні виробів в ексикаторі [15]. Визначення активності води у дослідних зразках проводили на електронному вимірювачі активності води «LabMaster-aw neo» компанії Novasina AG (Швейцарія).

**Результати дослідження.** Перший етап дослідження передбачав визначення фізико-хімічних показників якості помадних цукерок: контролю (виготовленого на сахарозі), зразка із заміною 30% цукру полі декстрозою. Також проаналізовано відповідність їх якості вимогам нормативної документації ДСТУ 4135:2014 «Цукерки» [17]. Результати досліджень представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники якості зразків помадних цукерок

Зразки цукерок	Масова частка	
	вологи, %	редуючих речовин, %
Вимоги до помадних цукерок згідно з ДСТУ 4135:2014 «Цукерки»	не більше 16,0	не більше 14
Контрольний зразок	$9,5 \pm 0,5$	$6 \pm 0,5$
Зразок із заміною 30% цукру полідекстрозою	$9,0 \pm 0,5$	$12,5 \pm 0,5$

За фізико-хімічними показниками досліджувані зразки помадних цукерок повністю відповідають вимогам чинного стандарту. Але слід відмітити, що в зразку з полідекстрозою масова частка редуючих речовин удвічі більша, ніж у контрольному зразку. Наявність редуючих речовин у помадних цукерках, в основному, обумовлена внесенням в їх рецептуру такого інгредієнта, як патока. У зразку з полідекстрозою збільшений вміст редуючих речовин, на нашу думку, пов'язаний із способом отримання полідекстрази шляхом кислотно-каталізуваної полімеризації глюкози та сорбітолу, при якому цей наповнювач може містити незначну частину функціональних груп глюкози, що вступають у реакцію відновлення [18]. Збільшена кількість редуючих речовин не погіршує якість виробів, але потребує дослідження цукерок під час зберігання.

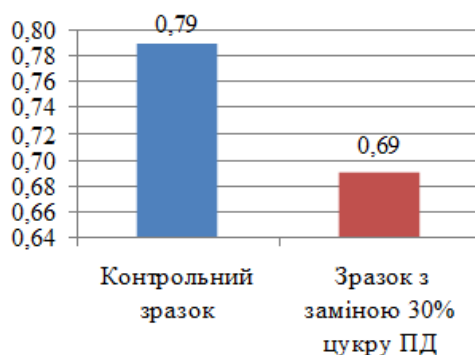
Масова частка вологи в досліджуваних зразках знаходиться в допустимих межах і практично однакова. Однак показник масової частки вологи в харчовому продукті не завжди дає змогу об'єктивно охарактеризувати її вплив на фізико-хімічні та мікробіологічні процеси, що можуть відбуватися в продукті під час його зберігання. Здатність води брати участь в низці процесів, що відбуваються при зберіганні

виробів, а також їх інтенсивність, залежить від співвідношення вільної та зв'язаної води і можуть бути охарактеризовані таким показником, як активність води.

Відомо, що існує кілька основних факторів, що впливають на значення активності води в продукті. Серед них є основний, який характерний для наших досліджуваних систем. Це наявність і кількість гідрофільних речовин та вологоутримувальних компонентів. Ці речовини взаємодіють із водою в системі й утворюють нові іонні і водневі зв'язки, зменшуючи таким чином кількість доступної води в продукті.

Враховуючи, що під час зберігання помадних цукерок, виготовлених на цукрі, відбувається інтенсивний процес десорбції, необхідно дослідити та встановити вплив полідекстрози (ПД) та карбоксиметилцелюлози (КМЦ) на показник активності води в досліджуваних зразках цукерок для прогнозування їх поведінки при зберіганні.

Результати досліджень наведені на рис. 1.



**Рис. 1. Активність води в досліджуваних зразках помадних цукерок**

При визначенні впливу складу рецептурних компонентів на активність води у досліджуваних зразках встановлено, що в помадних цукерках із заміною сахарози на 30% полідекстрози цей показник знижується на 12,7%. Це пояснюється тим, що полідекстроза та карбоксиметилцелюлоза збільшують кількість енергетичних зв'язків в продукті і зменшують кількість незв'язаної води, через що зменшується показник активності води. Результати цих досліджень дають змогу прогнозувати уповільнення черствіння цукерок з частковою заміною цукру полідекстрозою.

Оскільки цукерки пропонується виготовляти неглазурованими, щоб розширити аудиторію майбутніх споживачів виробів, то питання збереження їх якості під час зберігання потребує відповідних досліджень.

Була проведена серія дослідів з визначення зміни органолептичних і фізико-хімічних властивостей цукерок, що зберігалися непакованими (для інтенсифікації видалення води з корпусів).

На рис. 2 наведені профілографи зміни органолептичних показників контрольного зразка неглазурованих помадних цукерок і зразка із заміною 30% цукру полідекстрозою.

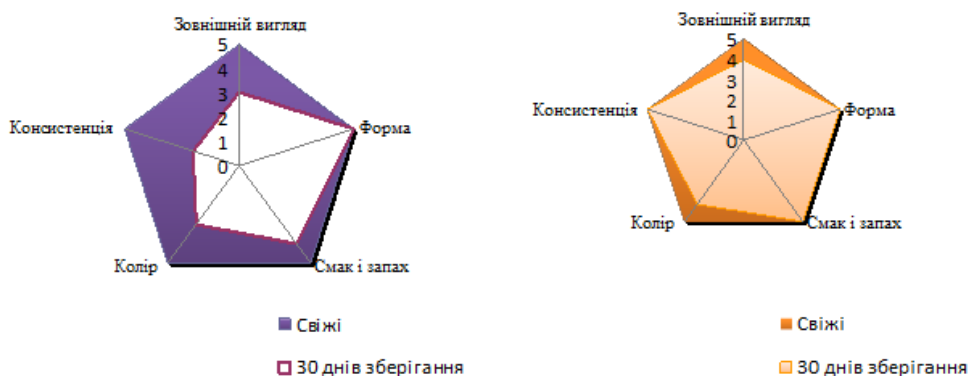


Рис. 2. Профілограми зразків неглазурованих помадних цукерок

Встановлено, що в зразку з частковою заміною цукру полідекстрозою при зберіганні їх протягом 30 діб консистенція виробів залишається м'якою, тоді як у контрольному зразку консистенція стає занадто твердою через інтенсивне видалення вологи з їх корпусів.

Для підтвердження позитивного впливу полідекстрози та карбоксиметилцелюлози на уповільнення черствіння помадних цукерок проведено визначення показника усихання неглазурованих помадних цукерок, що зберігалися непакованими протягом 6 тижнів зберігання. Результати дослідження представлені на рис. 3.

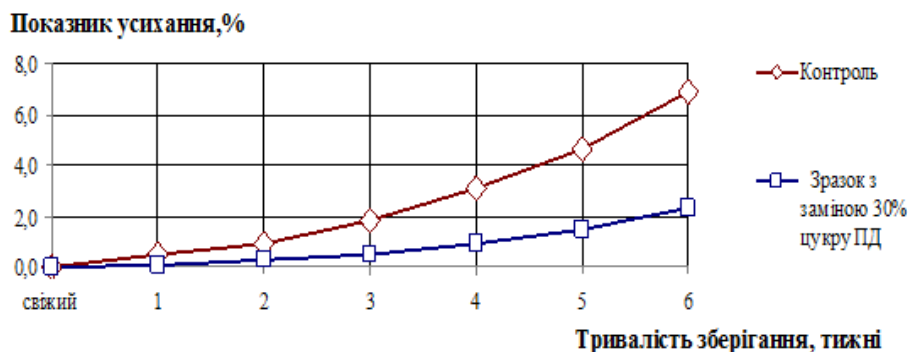


Рис. 3. Усихання помадних цукерок при зберіганні протягом 6 тижнів непакованими

При дослідженні показника усихання помадних цукерок при зберіганні їх непакованими було встановлено, що видалення вологи зразком із частковою заміною цукру полідекстрозою відбувається значно повільніше порівняно із контрольним зразком на сахарозі. Після зберігання виробів протягом 6 тижнів непакованими показник усихання для зразка із полідекстрозою був на 67% нижчим порівняно із цим значенням у контрольному зразку. Це можна пояснити тим, що в складі досліджуваного зразка наявні вологоутримувальні агенти (полідекстроза та карбоксиметилцелюлоза), які знижують показник активності води в цьому зразку і таким чином сповільнюють процес видалення вологи та сприяють збереженню свіжості зразка протягом більшого терміну зберігання.

Видалення вологи з корпусів цукерок супроводжується зміною рівноваги між рідкою і твердою фазами помадної маси у бік збільшення твердої фази, що призводить до збільшення міцності корпусів цукерок і часткового погіршення їх якості. Тому проведені дослідження зміни пластичної міцності досліджуваних помадних цукерок під час зберігання.

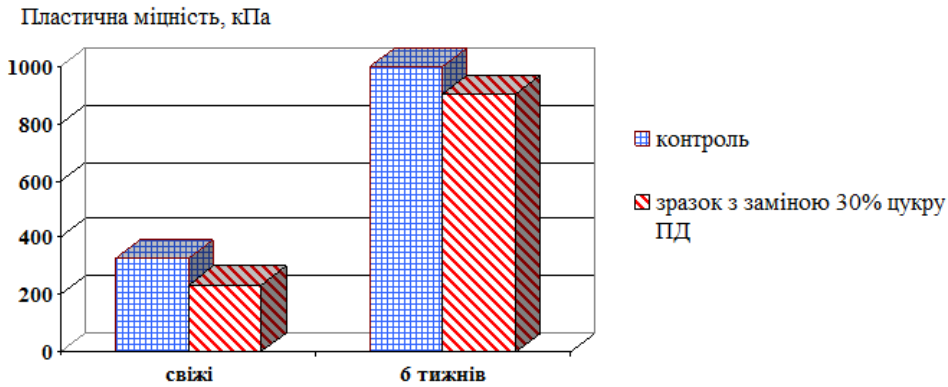


Рис. 4. Зміна пластичної міцності помадних цукерок під час зберігання непакованими

Спостерігаємо, що під час зберігання пластична міцність збільшується у двох досліджуваних зразках, але після 6 тижнів зберігання в зразку з ПД її значення буде нижчим за контрольний зразок, що, напевно, пов'язане зі зниженням інтенсивності видалення вологи з рідкої фази за рахунок збільшення частки зв'язаної вологи в ній.

З метою прогнозування поведінки зразків під час зберігання, а також для встановлення раціонального способу пакування помадних цукерок зі зниженою часткою цукру були проведені дослідження з визначення сорбційно-десорбційних властивостей цих цукерок.

Результати по визначенню рівноважної вологості виробів при їх зберіганні за максимально допустимою нормативною документацією відносної вологості повітря 75% наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Рівноважна вологість зразків помадних цукерок

Зразок цукерок	Значення рівноважної вологості зразків, % при $\phi = 75\%$
Контрольний зразок	1,70
Зразок із заміною 30% цукру полідекстрозою	4,30

Отримані дані свідчать, що обидва зразка при їх зберіганні за умов, що наведені в нормативній документації ( $\phi$  повітря не вище 75%), будуть намагатися наблизитися до значення рівноважної вологості (1,70% для контрольного зразка та 4,30% для зразка з ПД), яке є нижчим за масову частку вологи виробів, а отже, для обох зразків цукерок буде притаманне явище десорбції. Однак інтенсивність цього явища в зразку з внесенням полідекстрази буде меншою, тому за один проміжок часу суттєвих змін консистенції і збільшення кристалічності твердої фази помади зазнає саме контрольний зразок.

З метою збереження якості розроблених цукерок під час зберігання пропонується використовувати сучасні способи пакування. Тому наступним етапом наших

досліджень було дослідження зміни показників якості помадних цукерок з частковою заміною цукру полідекстрозою при різних способах пакування. Для цього спостерігали за змінами, що відбуваються в непакованих зразках, пакованих у комбінований полімерний матеріал на основі ПП способом «в перекрутку» та пакованих герметичним способом «флоу-пак». При зберіганні помадних цукерок за рахунок видалення вологи відбувається зменшення кількості рідкої фази та збільшення кількості твердої фази, яка являє собою кристали сахарози. При зберіганні цукерок кристалічної структури збільшуються розміри кристалів твердої фази, вони відчуються на смак і погіршують органолептичні властивості виробів.

Визначення кристалічності було проведено за допомогою рентгенографічного методу. Дифрактограми, зняті при опроміненні зразків помадних цукерок із 30% ПД свіжих та після зберігання протягом 1 місяця непакованими, пакованими «в перекрутку» та пакованими «флоу-пак», наведені на рис. 5.

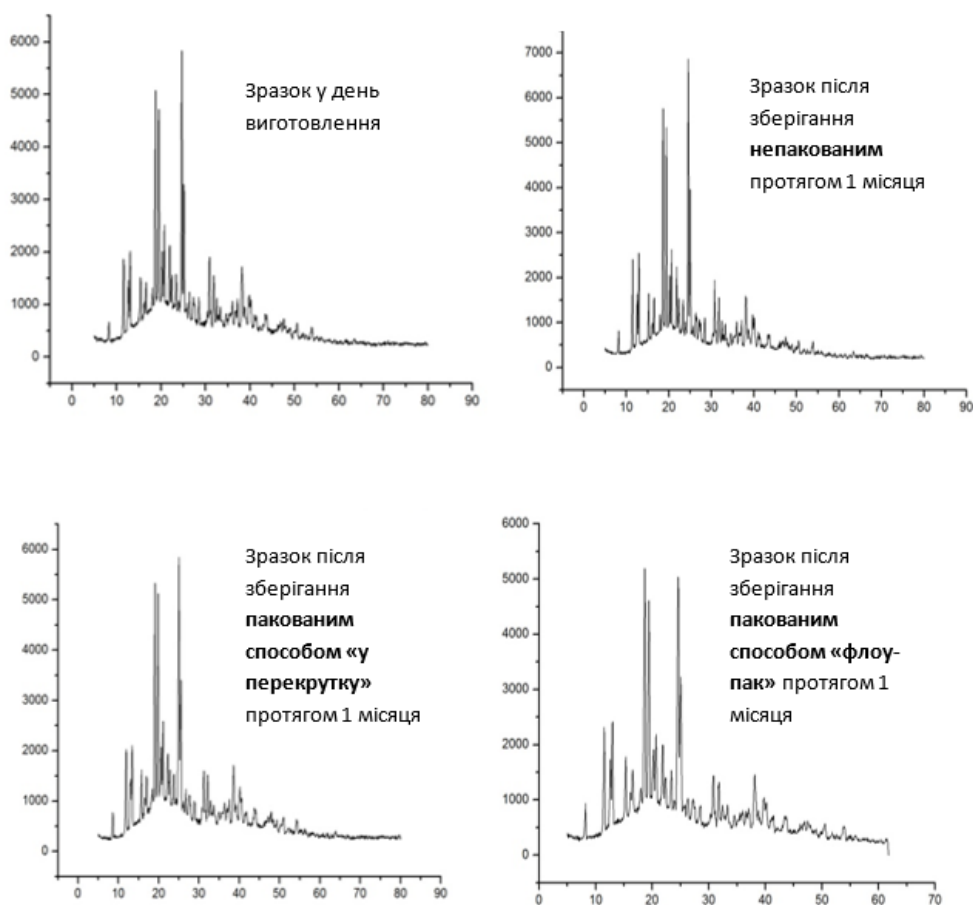


Рис. 5. Дифрактограми зразка помадних цукерок із 30% заміною цукру полідекстрозою

Порівнюючи дифрактограми свіжевиготовленого зразка та зразка непакованого після 1 місяця зберігання, спостерігаємо незначне збільшення інтенсивності піків, що свідчить про збільшення кристалічності досліджуваної цукерки. При аналізі

дифрактограм зразків, які зберігалися пакованими протягом 1 місяця, зміна кристалічності зразків мінімальна. Разом з тим у зразку, який зберігався пакованим способом «флоу-пак» при кутах дифракції 21 та 25, спостерігається незначне зменшення інтенсивності піків, що можна пояснити тим, що відбувається перерозподіл вологи в рідкій фазі помади і, напевно, відбувається часткове розчинення існуючих кристалів помади.

Таблиця 3. Інтенсивність піків у зразках цукерок при зміні кутів дифракції

Інтенсивність піків, у межах кута дифракції 0—40	Цукерки			
	Свіжі	Непаковані	Паковані «в перекрутку»	Паковані «флоу-пак»
12	1900	2200	2000	2300
13	2000	2500	2100	2400
18	5000	5700	5300	5100
19	4700	5300	5100	4600
20	2500	2600	2500	1950
24	5800	6800	4800	5000
25	3200	3900	5800	3200
30	1900	1900	900	1400
38	1700	1600	1700	1450

Порівнюючи дифрактограми свіжевиготовленого зразка та зразка непакованого після 1 місяця зберігання, спостерігаємо незначне збільшення інтенсивності піків практично при всіх кутах дифракції, що притаманні сахарозі, що свідчить про збільшення кристалічності твердої фази помади. При аналізі дифрактограм зразків, які зберігалися пакованими різними способами, спостерігається не така інтенсивна зміна кристалічності зразків. Водночас у зразку, який зберігався пакованим способом «флоу-пак» при кутах дифракції 18, 20, 38, спостерігається незначне зменшення інтенсивності піків, що можна пояснити тим, що відбувається перерозподіл вологи в рідкій фазі помади і, напевно, відбувається часткове розчинення існуючих кристалів помади. Проведені дослідження доводять необхідність пакування помадних цукерок. Рационально це робити герметичним способом «флоу-пак», завдяки чому виріб довше зберігає свою якість і свіжість.

**Висновок.** Встановлено, що використання харчового волокна полідекстрази та вологоутримувального агента карбоксиметилцелюлози в рецептурі неглазованих помадних цукерок з метою зменшення їх калорійності та показника глікемічності має позитивний ефект на уповільнення швидкості видалення вологи з них. Наведені дослідження демонструють та пояснюють вплив цих рецептурних інгредієнтів на основні показники якості виробів і їх зміну під час зберігання. Тому можна прогнозувати, що ці вироби будуть конкурентоспроможними на ринку солодощів країни і користуватимуться попитом серед споживачів солодкої продукції.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гирка О. І. Вплив різних чинників на збереженість цукерок / О. І. Гирка// Вісник ЛТЕУ. Технічні науки. — 2017. — № 18. — С. 112—115.
2. Кохан О. О. Інноваційні технології кондитерських виробів подовженого терміну зберігання / О. О. Кохан, А. М. Дорохович // Ресурс- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції — основні засади її конкурентоздатності : матеріали III Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 9 вересня 2014 р. — К., 2014. — С. 41—47.
3. Aidoo R. P., Depuyere F., Afoakwa O., Dewettinck K. Industrial manufacture of sugar-free chocolates. Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science & Technology*. 2013. № 32. P. 84—95.

4. O'Donnell K., Kearsley M. *Sweeteners and sugar alternatives in food technology* — 2nd ed. UK.: Blackwell Publishing Ltd. 2012. p. 490.
5. Carbohydrate Nutrition, Dietary Fiber, Bulking Agents, and Fat Mimetics James N. BeMiller, Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third Edition), 2019.
6. The influence of ingredients on product stability and shelf life / N. W. G. Young, G. R. O'Sullivan Food and Beverage Stability and Shelf Life, 2011.
7. Шубина О. Г. Полидекстроза — многофункциональный углевод для создания низкокалорийных и обогащенных продуктов / О. Г. Шубина // Пищевая промышленность. — 2005. — № 5. — С. 28—31.
8. Студзінська М. О. Розроблення низькокалорійного кисломолочного продукту / М. О. Студзінська, І. Ю. Гойко // Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29—30 жовтня 2012 р. — К.: НУХТ, 2012. — С. 212—214.
9. Матяс Д. С. Оптимізація рецептурного складу желевого мармеладу з пониженням вмістом цукру / Д. С. Матяс, Ю. В. Камбулова, А. М. Дорохович, І. В. Мандзюк // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2018. — Т. 24, № 4. — С. 221—232.
10. Иоргачева Е. Г. Полидекстроза — рецептурный компонент пастило-мармеладных изделий / Е. Г. Иоргачева, К. В. Аветисян // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. — 2009. — № 3(52). — С. 34—36.
11. Фішук А. В. Застосування гідроколідів в технології молочних цукерок аморфної структури / А. В. Фішук, М. А. Польских, О. О. Кохан // Матеріали 85 Ювілейної міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 11—12 квітня 2019 р. К.: НУХТ, 2019 р. Ч. 1. С. 207.
12. Пат. № 00539 Україна, МПК (2020.01) A23G 3/00 Помадна маса зі зниженою калорійністю О. О. Кохан, О. С. Онофрійчук, М. А. Польских, Л. О. Опалінська; заявник і патентовласник Національний університет харчових технологій. № u2020 00539; заявл 29.01.2020; опубл. 10.07.2020. 4 с.
13. Онофрійчук О. С. Використання полідекстрази в технології помадних цукерок / О. С. Онофрійчук, О. О. Кохан, Ю. В. Камбулова, А. О. Грицайова // Modern engineering and innovative technologies. — 2020. — № 14. — Р 1. — С. 97—104.
14. Лурье И. С. Технологический и микробиологический контроль в кондитерском производстве: Справочник. / И. С. Лурье, Л. Е. Скокан, А. П. Цитович — М.: Колос, 2003. — 416 с.
15. Дорохович А. М. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів: лабораторний практикум / А. М. Дорохович, Ковбаса В. М. — К: Інкос, 2015. — 632 с.
16. Хейкер Д. М., Зевин Л. С. Рентгеновская дифрактометрия / Д. М. Хейкер, Л. С. Зевин — М.: «Мир», 1985 г. — 365 с.
17. Цукерки. Загальні технічні умови: ДСТУ 4135-2014. [Чинний від 2015-02-01]. К.: Держстандарт України, 2015. 24 с. (Національний стандарт України).
18. Pat. № 313,940 United States, Int. Cl A23L 1/00; REDUCED POLYDEXTROSE. G. Wayne Borden; Raymond C. Glowaky; Russell J. Hausman; Constantine Sklavounos; Harry O. Tobiasen; Assignee: Cultor Food Science, Cultor, Ltd. № USOO56O1863A4; Filed: Sep. 28, 1994; Date of Patent: Feb. 11, 1997. — 9p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕГЛАЗИРОВАННЫХ ПОМАДНЫХ КОНФЕТ С ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНОЙ САХАРА НА ПОЛИДЕКСТРОЗУ ПРИ ИХ ХРАНЕНИИ

О. С. Онофрійчук, Е. А. Кохан, Ю. В. Камбулова, Л. В. Марцинкевич  
Національний університет пищевых технологий

*В статье отражены исследования по изменению физико-химических и структурно-механических свойств помадных конфет, изготовленных с 30-процентной заменой сахарозы на полидекстрозу, во время их хранения. Исследования показали,*



что внесение полидекстрозы имеет положительное влияние на сохранение качества помадных конфет в процессе хранения. Согласно полученным результатам установлено, что значение показателя активности воды, усыхание и пластическая прочность изделий с полидекстрозой значительно ниже по сравнению с контрольным образцом помадных конфет. Использование полидекстрозы в технологии неглазированных помадных конфет оказывает положительное влияние на сохранение качества изделий во время их хранения.

**Ключевые слова:** помадная масса, полидекстроза, карбоксиметилцеллюлоза, влагоудерживающий агент, кристаллизация, структурно-механические свойства, показатель активности воды, упаковка, срок хранения.

УДК 637.5(075.8)

# INVESTIGATION PROBLEM OF HEAT-MASS TRANSFER IN INSTALLED RIPENING AND DRYING PROCESSES RAW-SMOKED SAUSAGES

**I. Oshchypok***Lviv University of Trade and Economics***Key words:**

sausage,  
raw smoked,  
task,  
thermal-masoperenos,  
drying

**Article history:**

Received 04.03.2021

Received in revised form  
10.05.2021

Accepted 02.06.2021

**Corresponding author:**

him1960@ukr.net

**ABSTRACT**

The problem of possibility of regulation of technological process by purposeful use of a complex of functional ingredients in combination with processes of heat and mass transfer is investigated in the article. The perspective direction of production of high-quality, safe for consumption of food products on the basis of introduction of biotechnological methods in the meat industry connected with creation of new technological decisions, production of raw smoked sausages which are based on effective use of bacterial starting cultures, producing enzymes and other additives is found out. which allows you to lower the pH, accelerates the process of color formation and has a stabilizing effect on the consistency of the finished product, depending on the drying process of sausages. Different types of dried sausages, in production, require the availability of appropriate raw materials, spices, a certain diameter and type of shells, the degree of grinding of raw meat, which are the limit conditions when considering the problem of heat and mass transfer. The classification of methods of intensification of sausage maturation is given. The issues of ensuring, during almost the entire drying period of sausages, complex physicochemical and biochemical changes caused by tissue enzymes and microorganisms (sausage ripening) with the duration of drying to ensure uniform drying of the entire volume of sausages. To ensure the appropriate thermo-moisture parameters of drying with the possibility of controlling this process, we considered the solution of the problem of analytical drying theory, a process which is a typical non-stationary process of heat and mass transfer and is reduced to solving a system of differential equations. As in production conditions to maintain necessary temperatures and relative humidity of air, on all volume of the drying chamber it is extremely difficult as air movement in dryers is considerable only near air ducts and speed of drying of sausages in the middle of the chamber (stagnant zones) is many times behind. from the speed of drying of sausages located near the windows of air ducts, and the supply and unloading of the product is uneven, the thermal parameters of the batches of sausages loaded into the drying chamber differ from the same parameters of sausages that are already in it. To take into account such conditions, a solution of the problem without initial conditions is proposed, which is based on an integral image and a theorem on the unity of the solution of a mixed problem.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-6

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧІ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В УСТАЛЕНИХ ПРОЦЕСАХ ДОЗРІВАННЯ І СУШІННЯ СИРОКОПЧЕНИХ КОВБАС

**І. М. Ощипок, д-р техн. наук**

*Львівський торговельно-економічний університет*

*У статті досліджена задача можливості регулювання технологічного процесу шляхом цілеспрямованого використання комплексу функціональних інгредієнтів у поєднанні з процесами тепломасоперееносу. Висвітлено перспективний напрямок виробництва високоякісних, безпечних для вживання харчових продуктів на основі впровадження біотехнологічних методів у м'ясній промисловості, пов'язаних зі створенням нових технологічних рішень виготовлення сирокоччених ковбас, які ґрунтуються на ефективному використанні бактеріальних стартових культур, продукуючих ферментів та інших добавок. Це дає змогу знизити рН, прискорює процес кольороутворення і має стабілізуючу дію на консистенцію готового продукту залежно від ходу сушіння ковбас. Вивчені питання забезпечення протягом майже всього періоду сушіння ковбасних виробів складних фізико-хімічних і біохімічних змін, що викликаються тканинними ферментами і мікроорганізмами (дозрівання ковбас) з тривалістю сушіння для забезпечення рівномірного просушування всього об'єму ковбас.*

**Ключові слова:** ковбаса, сирокоччена, задача, термо- і масопереенос, сушіння.

**Постановка проблеми.** Виробництво сирокоччених ковбас відноситься до найбільш складних технологій м'ясних виробництв і вимагає високого професійного вміння та великого досвіду. Як відомо, брак при їх виробництві щорічно приводить до значних фінансових втрат і додаткових затрат на м'ясопереробних підприємствах. При виробництві сирокоччених ковбас особливу увагу звертають на набір м'ясної сировини і прянощів, діаметр і вид оболонки, які використовуватимуть, ступінь подрібнення м'ясної сировини, кількість добавок, які можуть регулювати процес дозрівання: від прискореного до помірного чи повільного. Виготовлення різних видів ковбас залежить від багатьох факторів: наявності та стану обладнання, площ, сировини, спецій і добавок, уподобань споживачів тощо. Оскільки дозрівання сирокочченої ковбаси керується бактеріями, вирішальним моментом на виробництві є гранична гігієна, яка починається вже при відборі м'яса. Проте після осаджування батони сиров'ялених ковбас сушать у сушарках за температури 10—12°C, відносній вологості повітря 80—86% і швидкості його циркуляції 0,06—0,1 м/с протягом 6—7 діб. Потім відносну вологість повітря знижують до 76—78% і сушать ще 26—30 діб за швидкості повітря 0,06 м/с до досягнення стандартної вологості продукту 28—38%.

Сучасний етап розвитку технологій м'ясних виробництв характеризується використанням усе більшої кількості нової сировини, різних функціональних інгредієнтів і технологічних добавок, композитних пакувальних і контактуючих із продукцією матеріалів, технологічних рішень. Удосконалення технологій виробництва сирокоччених ковбас досліджували: О. Н. Аніскевич, В. В. Власенко, С. В. Крижак, А. А. Нестеренко, А. М. Патієва, Н. М. Ільїна, В. В. Прянішніков, А. В. Ільятков та ін. Використання біологічно активних препаратів на основі продуктів життєдіяльності мікроорганізмів є одним із шляхів інтенсифікації виробництва м'ясних продуктів, особливо при створенні нових високоякісних видів, таких як сирокоччені,

сиров'ялені та інші вироби. Успіх цього підходу залежить передусім від штамів, що мають здатність інтенсифікувати терміни виготовлення виробів, поліпшують їх смакоароматичні та інші показники якості, а також забезпечують безпеку продукції для споживача в оптимізованих процесах сушіння.

Необхідні додаткові дослідження залежності фізико-хімічних, структурно-механічних, органолептичних показників готового продукту і інтенсифікації процесу виробництва від кількості різних введених рецептурних добавок у технології сирокоччених ковбас і ведення технологічного процесу дозрівання та сушіння. Розглянуті питання моделювання теплотехнологічних процесів при виробництві ковбас наведені в працях[1—8].

**Мета дослідження:** вивчення питання можливостей регулювання технологічного процесу шляхом цілеспрямованого використання комплексу функціональних інгредієнтів у поєднанні з процесами тепломасопереносу. Одним із перспективних напрямів виробництва високоякісних безпечних для вживання харчових продуктів є реалізація біотехнологічних методів у м'ясній промисловості, яка пов'язана зі створенням нових технологічних рішень виготовлення продукції, що ґрунтуються на ефективному використанні бактеріальних стартових культур, продукуючих ферментів та інших добавок, які дають змогу знизити рН, прискорюють процес кольорування і стабілізуючу консистенцію готового продукту залежно від ходу сушіння ковбас.

**Матеріали і методи.** Сушіння здійснюється шляхом зниження вологості і збільшення відносного вмісту кухонної солі і копильних речовин у м'ясопродукті, підвищуючи їх стійкість до дії гнильної мікрофлори. Крім того, збільшується вміст сухих поживних речовин в одиниці маси готового продукту, поліпшуються умови його зберігання й транспортування. Якщо при зневодненні варено-копчених ковбас процес не ускладнюється якимись супутніми явищами, крім деяких втрат копильних речовин у навколишнє середовище, то при всій зовнішній простоті сушіння сирих (сирокоччених, сиров'ялених) ковбасних виробів протягом майже всього періоду сушіння в продукті відбуваються складні фізико-хімічні та біохімічні зміни, що викликаються тканинними ферментами і мікроорганізмами (дозрівання ковбас), а тривалість сушіння із забезпеченням рівномірного просушування всього об'єму ковбас відіграє вирішальну роль. При цьому спостерігається руйнування первинної клітинної структури м'язової тканини й утворення однорідної, монолітної структури, властивої готовому виробу. Розв'язок задачі тепло масопереносу при описаних умовах відіграє важливу роль.

**Результати дослідження.** Монолітна структура, властива готовому продукту, починає формуватися з моменту наповнення фаршем оболонки і відбувається в період осадження, копчення й сушіння продукту. Умови цього процесу, які змінюються протягом цих технологічних стадій, істотно впливають на специфіку формування структури. При зневодненні на основі конденсаційних зв'язків утворюється просторовий структурний каркас унаслідок агрегування білків, які виходять зі структури волокон у зовнішнє середовище в результаті їх механічного та ферментативного руйнування.

Отримання температурного градієнта при осцилюючому процесі сушіння, однаково спрямованого з вологим, можливе при неізотермічному веденні процесу, коли температура повітря в камері циклічно змінюється з більшої на меншу. Можливе також отримання температурного градієнта, однаково спрямованого з вологим, при

постійній температурі повітря в сушильній камері та внаслідок вибіркового циклічного нагріву продукту енергією надвисоких частот.

Класифікацію методів інтенсифікації дозрівання ковбас наведено на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація методів інтенсифікації дозрівання ковбас

Для полегшення проникнення вологи через ковбасну оболонку, що має обмежену паропроникність і прилеглий до неї ущільнений шар продукту, доцільно використовувати сушіння у вакуумі, що дає змогу створити перепад парціального тиску водяної пари по обидва боки ущільненого зовнішнього шару і ковбасної оболонки.

У сушильних камерах великої місткості ковбасу розміщують на багаторушних вішалах. Необхідний режим сушіння забезпечують кондиціонерами. Для контролю режиму сушіння в камері встановлюють термометри і психрометри або термографи та гігрографи. Для цих сушарок характерна нерівномірність волого-температурного режиму по їх об'єму і необхідність перевішування продукції в період сушіння, що пов'язане з непродуктивними затратами праці. Сушать ковбасу без попереднього копчення. Між батонами залишають проміжки, достатні для вільної циркуляції повітря. Відстань між ярусами 0,6 м, від підлоги до нижнього ярусу — 1,2 м, від верхнього ярусу до стелі — 0,2—0,4 м. Вимірювання, показали, що температура в сушильній камері коливається в межах +10 .. + 19°C, а відносна вологість повітря від 44 до 90%. Різниця вологості по висоті досягає 10% і більше.

Забезпечення відповідних термовологісних параметрів сушіння з можливістю контролю цього процесу розглянемо на основі розв'язку задачі аналітичної теорії сушіння. Типовий нестационарний процес тепло- і масопереносу в математичному формулюванні зводиться до розв'язку системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial \theta_{\ell}}{\partial \tau} = \sum_{k=1}^2 K_{\ell k} \Delta^2 \theta_k, (\ell = 1, 2) \quad (1)$$

при таких початкових і граничних умовах:

$$\theta_{\ell}(x, y, \tau_0) = f_{\ell}(x, y) \quad (0 < x < L; -\infty < y < \infty); \quad (2)$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_\ell}{\partial x} + \sum_{k=1}^2 (\gamma_{\ell k})_0 \theta_k \right]_{x=0} = \phi_\ell(y_0 \tau); \quad (3)$$

$$\left[ \frac{\partial \theta_\ell}{\partial x} + \sum_{k=1}^2 (\gamma_{\ell k})_L \theta_k \right]_{x=L} = \psi_\ell(y, \tau); \quad (4)$$

де  $(\gamma_{\ell k})_0, (\gamma_{\ell k})_L, \phi_\ell, \psi_\ell, f_\ell, (\ell=1, 2)$  — обмежені, неперервні функції (перші дві є коефіцієнтами тепло- і масообміну м'ясних виробів з навколишнім середовищем);

$\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  — оператор Лапласа;  $K_{\ell k} = \text{const}$  задовольняють нерівності:

$K_{11} > 0; K_{22} > 0; K_{11}K_{22} - K_{12}K_{21} > 0$ ;  $\tau, \theta_1, \theta_2$  — відповідно час, температура і потенціал масопереносу.

Якщо процес дозрівання і сушіння вивчаємо в момент достатньо віддалений від початкового впливу, первинні умови практично не впливають на його стан, тому ними можна знехтувати. Розглянемо задачу про знаходження розв'язків системи (1), які будуть задовольняти умови (3), (4), задані для всіх  $\tau \rightarrow \infty$ . Тому для усталеного процесу дозрівання і сушіння, певна річ, виникає задача без початкових умов

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_\ell}{\partial \tau} &= \sum_{k=1}^2 K_{\ell k} \Delta^2 \theta_k, \quad (\ell=1, 2) \\ \left[ \frac{\partial \theta_\ell}{\partial x} + \sum_{k=1}^2 (\gamma_{\ell k})_0 \theta_k \right]_{x=0} &= \phi_\ell(y, \tau) \\ \left[ \frac{\partial \theta_\ell}{\partial x} + \sum_{k=1}^2 (\gamma_{\ell k})_L \theta_k \right]_{x=L} &= \psi_\ell(y, \tau). \end{aligned} \quad (5)$$

Для розв'язку задачі без початкових умов застосовуємо метод А. М. Тихонова, в основі якого лежить інтегральне зображення і теорема про єдиність розв'язку змішаної задачі. Використаємо інтегральне зображення розв'язку задачі (5), отримане [А. М. Тихонов та В. Я. Арсенін, 1986]:

$$\begin{aligned} \theta_\ell(x, y, \tau) &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{\ell m}^k \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_k(\alpha, \beta) G_m(x - \alpha, y - \beta; \tau - \tau_0) d\beta + \\ &+ 2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=2}^2 A_{\ell m}^k \mu_m^2 \int_{\tau_0}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} \omega_k^{(1)}(\beta, \tau^*) \times \\ &\times G_m(x - \alpha, y - \beta; \tau - \tau^*) d\beta + \\ &+ 2 \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{\ell m}^k \mu_m^2 \int_{\tau_0}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} \omega_k^{(2)}(\beta, \tau^*) G_m(L - x, (y - \beta); (\tau - \tau^*)) d\beta, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $G_m$  — зміна тепломасопереносу залежна від зовнішніх факторів

$$G_m(x - \alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) = \frac{1}{4\pi\mu_m^2(\tau - \tau_0)} \exp \left[ -\frac{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2}{4\mu_m^2(\tau - \tau_0)} \right];$$

$\tau^*$  — температура усталеного тепло- і масопереносу;

$\alpha_k(\alpha, \beta)$  — функція усталених зовнішніх факторів тепло-і масопереносу, а функція  $\omega_k^{(i)} (i=1, 2)$  є розв'язком системи інтегральних рівнянь:

$$\omega_{\ell}^{(1)}(y, \tau) = \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \int_{\tau_0}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} R_{\ell m}^{(k)}(y, \tau^0, \beta, \tau^*) d\beta + F_{\ell}^{(1)}(y, \tau, \tau_0);$$

$$\omega_{\ell}^{(2)}(y, \tau) = \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \int_{\tau_0}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} H_{\ell m}^k(y, \tau; \beta, \tau^*) \omega_m^{(k)}(\beta, \tau^*) d\beta + F_{\ell}^{(2)}(y, \tau, \tau_0). \quad (7)$$

Тут  $R_{\ell m}^{(k)}(y, \tau; \beta, \tau^*)$ ,  $H_{\ell m}^{(k)}(y, \tau; \beta, \tau^*)$  є функціями впливу і визначаються формулами:

$$R_{\ell m}^{(1)} = \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 (\gamma_{\ell k})_0 A_{ki}^m G_m(0, y - \beta, \tau - \tau^*);$$

$$R_{\ell m}^{(2)} = \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 (\gamma_{\ell k})_0 A_{ki}^m G_m(L, y - \beta, \tau - \tau^*) + \sum_{i=1}^2 A_{li}^m \frac{L}{\tau - \tau^*} G_m(L, y - \beta, \tau - \tau^*);$$

$$H_{\ell m}^{(1)} = -\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 A_{ki}^m (\gamma_{\ell k})_L G_m(L, y - \beta, \tau - \tau^*) + \sum_{i=1}^2 A_{li}^m \frac{L}{\tau - \tau^*} G_m(L, y - \beta, \tau - \tau^*);$$

$$H_{\ell m}^{(2)} = -\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 A_{ki}^m (\gamma_{\ell k})_L G_m(L, y - \beta, \tau - \tau^*);$$

Крім цього,

$$F_L^{(1)}(y, \tau, \tau_0) = \phi_{\ell}(y, \tau) + \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{m=1}^2 (\gamma_{\ell i})_0 A_{im}^k \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_k(\alpha, \beta) \times$$

$$\times G_m(\alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta + \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{lm}^k + \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_k(\alpha, \beta) \alpha}{2\mu_m^2(\tau - \tau_0)} G_m(\alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta;$$

$$F_{\ell}^{(2)}(y, \tau, \tau_0) = \psi_{\ell}(y, \tau) - \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 (\gamma_{\ell i})_L A_{im}^k \int_L^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_k(\alpha, \beta) \times$$

$$\times G_m(\alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta +$$

$$+ \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{\ell m}^k \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f_k(\alpha, \beta)(L - \alpha)}{2\mu_m^2(\tau - \tau_0)} \times G_m(\alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta.$$

Константи тепло- і масопереносу  $A_{\ell m}^k$ , які входять у ці формули, можна виразити через корені  $\mu_m^2$  рівняння:

$$(K_{11} - \mu_m^2)(K_{22} - \mu_m^2) - K_{12}K_{21} = 0.$$

Доведемо, що розв'язок  $\theta_{\ell}(x, y, \tau)$  задачі без початкових умов (5) має такі інтегральні зображення:

$$\theta_{\ell}(x, y, \tau) =$$

$$= 2 \sum_{\ell=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{\ell m}^k \mu_m^2 \int_{-\infty}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \omega_k^{(1)}(\beta, \tau^*) G_m(x, y - \beta); (\tau - \tau^*) + \omega_k^{(2)}(\beta, \tau^*) G_m(L - x, y - \beta, \tau - \tau^*) \right] \times (8)$$

$$\times d\beta,$$

де  $\omega_k^{(1)}, \omega_k^{(2)}$  — функції, які визначимо із системи інтегральних рівнянь (9). Для цього покажемо, що перший доданок у (6), який позначимо через  $I$ , прямує до нуля при  $\tau_0 \rightarrow -\infty$ .

Оскільки  $\left| f_k(x, y) \right| \leq M = \text{const}$ , то, оцінюючи  $I$ , отримаємо

$$|I| = \left| \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 A_{\ell m}^k \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} f_k(\alpha, \beta) G_m(x - \alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta \right| \leq M \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \left| A_{\ell m}^k \right| \int_0^L d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} G_m(x - \alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) d\beta.$$

Оскільки

$$G_m(x - \alpha, y - \beta, \tau - \tau_0) = \frac{1}{4\pi\mu_m^2(\tau - \tau_0)} \exp \left[ -\frac{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2}{4\mu_m^2(\tau - \tau_0)} \right] \xrightarrow{\tau_0 \rightarrow -\infty} 0,$$

то  $\lim I = 0$ , в результаті цього з (6) випливає рівняння (8). Система інтегральних рівнянь для функцій  $\omega_l^{(1)}, \omega_l^{(2)}$  у (8) отримуємо із системи (7) за допомогою граничного переходу при  $\tau_0 \rightarrow -\infty$ , яка має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \omega_{\ell}^{(1)}(y, \tau) &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \int_{-\infty}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} R_{\ell m}^{(k)}(y, \tau; \beta, \tau^*) \omega_m^{(k)}(\beta, \tau^*) d\beta + \\ &+ \Phi_{\ell}(y; \tau) \\ \omega_{\ell}^{(2)}(y, \tau) &= \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 \int_{-\infty}^{\tau} d\tau^* \int_{-\infty}^{\infty} H_{\ell m}^{(k)}(y, \tau; \beta, \tau^*) \omega_m^{(k)}(\beta, \tau^*) d\beta + \\ &+ \Psi_{\ell}(y, \tau) \end{aligned} \quad (9)$$

Розв'язок цієї системи встановлюється методом послідовних наближень.

Оскільки математична модель тепло- і масопереносу відображає зміну потенціалів зовнішнього середовища у своїх граничних умовах, то розглянута задача має практичне значення при вивченні технологічних процесів сушіння сировокопчених ковбасних виробів.

Враховуючи особливості сушіння сировокопчених ковбас на рамі для розрахунку тривалості процесу, на кожний ступінь режиму сушіння запропонуємо таку формулу:

$$\tau_{1...n} = c_{\tau} \frac{78 \cdot S_1^{1,85}}{a' \cdot 10^6} \cdot \bar{C} \cdot A_p \cdot \lg \left( \frac{W_n - W_p}{W_k - W_p} \right), \text{ год} \quad (10)$$

де  $c_{\tau}$  — коефіцієнт, який враховує вплив розміру ковбасних виробів (для ковбасних виробів не значних товщин  $c_{\tau} = 1$ );  $a'$  — коефіцієнт вологопровідності сировокопчених ковбас,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;  $\bar{C}$  — середній коефіцієнт сповільнення процесу сушіння на рамі;  $A_p$  — коефіцієнт, який враховує реверсивність циркуляції агента сушіння на рамі, для реверсивного  $A_p = 1$ , для нереверсивного —  $A_p = 1,1$ ;  $W_n, W_k, W_p$  — відповідно, початкова, кінцева і рівноважна вологість сировокопчених ковбас на кожній із ступенів режиму сушіння;  $S_1$  — товщина або діаметр ковбасного виробу, мм.

**Висновки.** Вивчене питання регулювання технологічного процесу сушіння сировокопчених ковбас з використанням комплексу функціональних інгредієнтів у поєднанні з процесами тепломасопереносу, шляхом розв'язку задачі без початкових умов і аналітичної теорії сушіння, процес якого є типовим нестационарним процесом тепло- і масопереносу. Математичне формулювання цієї задачі зводиться до розв'язку системи розглянутих диференціальних рівнянь.



Однією з умов перспективного виробництва високоякісних безпечних для вживання харчових продуктів є реалізація біотехнологічних методів у м'ясній промисловості, які пов'язані зі створенням нових технологічних рішень виготовлення сировокопчених ковбас і ґрунтуються на ефективному використанні бактеріальних стартових культур, що продукують ферменти та інші добавки, які дають змогу знизити рН, прискорити процес кольороутворення і стабілізації консистенції залежно від умов забезпечення процесу сушіння ковбас.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Bakalis S. Modelling thermal processes: heating / Bakalis S., Cox P. W., Fryer P. J. // Food Process Modelling. — 2001. — P. 340—364.
2. Heavy leathers: preparation and drying methods / Jones Colin// World Leather. — 1999. — 12, № 2. S. 75—76, 79—80.
3. Tornberg E. Effects of heat on meat proteins — Implications on structure and quality of meat products / Tornberg E. // Meat Science. — 2005. — Volume 70, Issue 3. — P. 493—508.
4. Ощипок І. М. Модель процесу тепломасопереносу при конвективному сушінні м'ясних виробів. / І. М. Ощипок // Наукові праці ОНАХТ. Т.83. Вип. 1. Одеса 2019. — С. 147—151.
5. Ощипок І. М. Математичне моделювання дії теплового випромінювання на термічну обробку ковбасних батонів/ І. М. Ощипок//Наукові праці ОНАХТ .Т. 84, випуск 1. Одеса 2020. — С. 42—47.
6. Павелко В. І. Дослідження впливу деяких технологічних факторів на тривалість процесу термічної обробки ковбасних виробів / В. І. Павелко, О. Ю. Соколенко, А. І. Заславський // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2012. — № 45. — С. 31—37.
7. Сажин Б. С. Научные основы техники сушки / Б. С. Сажин, В. Б. Сажин. — М.: Наука, 1997. — 447 с.
8. Солецька А. Д. Оптимізація режимів термічного оброблення варених ковбас / Солецька А. Д.// Харчова наука і технологія. — 2014. — № 3. — С. 73—76.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В УСТАНОВЛЕННЫХ ПРОЦЕССАХ СОЗРЕВАНИЯ И СУШКИ СЫРОКОПЧЕНЫХ КОЛБАС

**И. М. Ощипок**

*Львовский торгово-экономический университет*

*В статье исследована задача возможности регулирования технологического процесса путем целенаправленного использования комплекса функциональных ингредиентов в сочетании с процессами тепломассопереноса. Предложено перспективное направление производства высококачественных, безопасных для употребления пищевых продуктов на основе внедрения биотехнологических методов в мясной промышленности, связанных с созданием новых технологических решений изготовления сырокопченых колбас, которые основываются на эффективном использовании бактериальных стартовых культур, производящих ферменты и другие добавки, что позволяет снизить рН, ускоряет процесс цветообразования и имеет стабилизирующее действие на консистенцию готового продукта в зависимости от хода сушки колбас. Изучены вопросы обеспечения в течение почти всего периода сушки колбасных изделий сложных физико-химических и биохимических изменений, вызываемых тканевыми ферментами и микроорганизмами (созревание колбас) с продолжительностью сушки для обеспечения равномерного просушивания всего объема колбас.*

**Ключевые слова:** колбаса, сырокопченая, задача, термо- и массоперенос, сушка.

УДК 663.9

# FUNCTIONAL DRINK FROM MALT RAW MATERIALS AS A SUBSTITUTE FOR NATURAL COFFEE

Y. Ivanov, V. Schutuyk

*National University of Food Technologies***Key words:**

coffee,  
beverages,  
coffee drinks,  
malt,  
barley,  
barley coffee

**Article history:**

Received 07.03.2021

Received in revised form

18.05.2021

Accepted 28.05.2021

**Corresponding author:**

yevhenii.ivanov@  
gmail.com

**ABSTRACT**

Coffee and coffee drinks are most widely consumed in Ukraine and the vast majority of countries in the world. High demand does not decrease, but on the contrary tends to increase; in recent decades, the network of cafes and the range of these products has been expanding.

World analysts say that this product is second in sales and is second only to oil. In one calendar year, coffee sales in Ukraine exceed \$ 100 million. At the same time, the market for coffee drinks is constantly in need of technology improvement and the development of new products with different taste and aroma properties. In the context of the world coffee market, the Ukrainian coffee market has a steady upward trend and the upward trend will be observed for the next several decades. Today, in terms of coffee consumption, the Ukrainian market is significantly inferior to the leading world markets, but it is characterized by rapid development. Coffee is addictive, a proven scientific fact. Exceeding the individual dose leads to dependence, the body reacts with severe fatigue, drowsiness and even depression. But over time, the effect of caffeine weakens, and to achieve the same effect, a person has to increase the dose of coffee they drink. Along with the production of roasted and instant coffee, there is a huge problem with the disposal of coffee waste, as well as with their impact on the environment. Regardless of where coffee is produced, at home, in a cafeteria or in a factory, millions of tons of waste are generated annually, at least a dozen technologies for the disposal of coffee grounds have been developed, but none of them has received global distribution. Therefore, in parallel with the development of the coffee market, the search for drinks with similar taste and aroma properties, but less harmful to human health and the environment, is becoming increasingly important. Such beverages can meet the special needs of the coffee and coffee beverage market as well as reduce the formation of coffee grounds that are difficult to dispose of. Replacement of raw materials in the composition of barley coffee makes it possible to obtain a drink with the appropriate taste, aroma and functional properties, since malt manifests itself more actively in the process of acquiring specific organoleptic characteristics.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-7

# ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ НАПІЙ ІЗ СОЛОДОВОЇ СИРОВИНИ ЯК ЗАМІННИК НАТУРАЛЬНОЇ КАВИ

Є. І. Іванов

В. В. Шутюк, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Об'єктом дослідження є потреби кавового ринку в Україні та світі. Попит на споживання кави та кавових напоїв зростає впродовж останніх десятиліть, ця тенденція буде зберігатись і далі. Обсяги кавового ринку обчислюються мільйонами тонн, проте за такими об'ємами споживання йдуть величезні об'єми відходів без ефективної технології утилізації. Певну частку споживачів становлять люди, які з певних причин не можуть або не хочуть вживати каву, проте шукають аналогічні за органолептичними показниками напої.

У статті теоретично обґрунтовано проведення подальших досліджень з розробки нового типу кавового напою, який може бути представлений удосконаленням класичної технології ячмінної кави за рахунок зміни вихідної сировини. Напій буде мати наближені до кави смако-ароматичні показники та функціональні властивості.

**Ключові слова:** кавовий напій, солод, ячмінь, кава, кавові відходи.

**Постановка проблеми.** Кава та кавові напої є найбільш вживаними в Україні та переважній більшості країн світу. Великий попит не спадає, навпаки, спостерігається тенденція до зростання протягом останніх 20 років, розширюється мережа кав'ярень й асортимент продукції.

Світові аналітики стверджують, що кава посідає друге місце за обсягами продажу і поступається тільки обсягам продажу нафти. За один календарний рік продаж кави на території України перевищує 100 млн дол. США. В той же час ринок кавових напоїв постійно потребує вдосконалення технології та розроблення нових продуктів з різними смако-ароматичними властивостями. В контексті глобального ринку кави український кавовий ринок має стійку тенденцію до зростання. Сьогодні за обсягами споживання кави він значно поступається провідним світовим ринкам, проте характеризується швидкими темпами розвитку [1].

Кава викликає залежність. І це теж доведений науковий факт. Перевищуючи свою індивідуальну дозу, людина формує в себе залежність. Тепер відмовитися від кави вона просто фізично не може, організм реагує сильною стомлюваністю, сонливістю і навіть депресією. Але при цьому з часом дія кофеїну послаблюється і, щоб досягти такого ж ефекту, людині доводиться збільшувати дозу випитої кави. Для деякої категорії споживачів кофеїн є шкідливим, навіть у маленьких дозах [2].

Поруч з виробництвом смаженої та розчинної кави існує величезна проблема з утилізацією кавових відходів, а також впливом цих відходів на довкілля. Незалежно від того, де роблять каву, вдома, в кафетерії чи на виробництві, щорічно утворюються мільйони тонн відходів.

Саме тому паралельно з розвитком ринку кави набуває актуальності питання пошуків схожих за смако-ароматичними властивостями напоїв, проте менш шкідливих для здоров'я людини та нашого довкілля. Такі напої можуть задовольнити специфічні потреби ринку кави та кавових напоїв, а також зменшити утворення кавової гущі, яка є складною в утилізації.

**Метою дослідження** є узагальнення та аналіз сучасних світових тенденцій ринку кави, досліджень щодо шкідливого впливу кави на організм людини, а також

технології утилізації кавових відходів як підґрунтя для розробки нового розчинного напою функціонального призначення на основі солодової сировини.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження є проблеми та потреби ринку кави й кавових напоїв, властивості солоду. Методами дослідження є метод синтезу та гіпотетико-дедуктивний метод.

**Викладення основних результатів дослідження.** Кава є найбільш споживаним безалкогольним напоєм останніх десятиріч. Зважаючи що тривалий час попит на каву тільки зростає, регулярно проводяться дослідження та аналіз ринку кави та кавових напоїв для прогнозування подальшого розвитку подій. Утім в Україні цей ринок тривалий проміжок часу залишався без уваги через доволі низький рівень функціонування та непрозорі перспективи розвитку.

Проблеми ринку кави в Україні описуються у працях Б. В. Духницького, де досліджено особливості вирощування, виробництва, обробки та дистрибуції кавової продукції у світі, а також проаналізовано основних гравців на ринку кави в Україні, визначено пріоритети споживачів за видами продукції та цінами на неї [3]. У зв'язку з динамічністю світового ринку та недостатнім обсягом досліджень нинішнього стану ринку кави в Україні, необхідним є здійснення ґрунтового аналізу даної сфери господарювання та опису можливостей розвитку кавового бізнесу на території нашої країни [1].

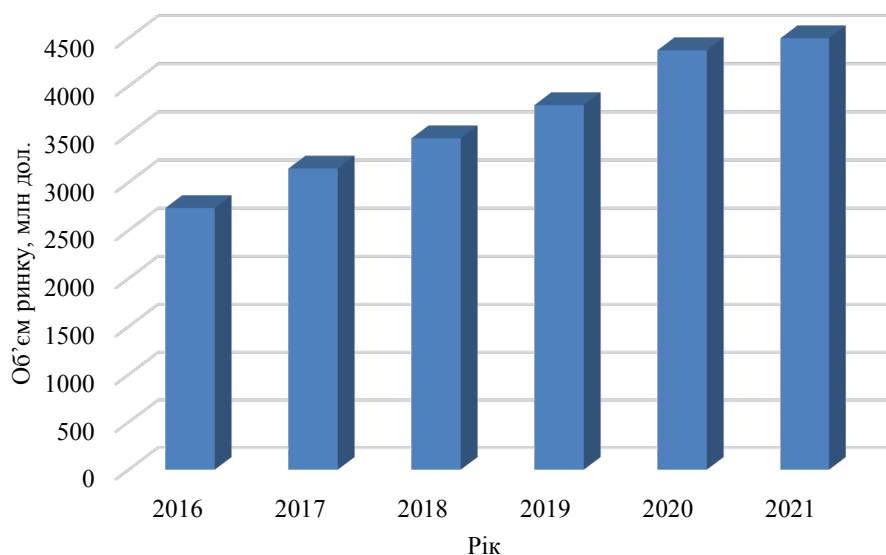
Стрімкий розвиток світового ринку кави підтверджується даними ICO (International Coffee Organization), за якими світовий експорт кави у липні 2017 р. становив 9,38 млн 60-кілограмових мішків порівняно з 8,45 млн в липні 2016 р., що свідчить про зростання цього показника на 12,2% усього за один рік [4].

Криза в 2013—2016 рр. незначного вплинула на формування культури споживання кави в Україні. Однак з 2017 р. ринок динамічно зростає. Попит на ринку підтримується тенденціями споживання, особливо поширенням моди на споживання якісної кави. Крім того, підтримку ринку надає збільшення кількості мініків'ярень. Вони використовують переважно якісне натуральне зерно, застосовують альтернативні методи приготування напою, різні способи обсмажування, методи контролю приготування і якості сировини, підвищуючи таким чином якість кінцевого продукту.

Головним фактором, який стимулював розвиток ринку в останні роки, було збільшення обсягу споживання кави та кавових напоїв. У досліджуваній період спостерігалось збільшення виробництва кави в Україні. Але варто зазначити, що повний цикл виробництва кави є невласливим процесом для України, оскільки для вирощування кавових дерев необхідний тропічний клімат. Виходячи з цього, виробниками кави в Україні вважаються фірми, які займаються обсмажуванням, помелом, розфасовкою кавових зерен і виробляють з них інші продукти кавової групи або ж виконують одну з перерахованих функцій.

Сьогодні в середньому один українець щорічно споживає близько 100 чашок кави поза домом. Причому споживання все більше зміщується на користь натуральної зернової/меленої кави [5].

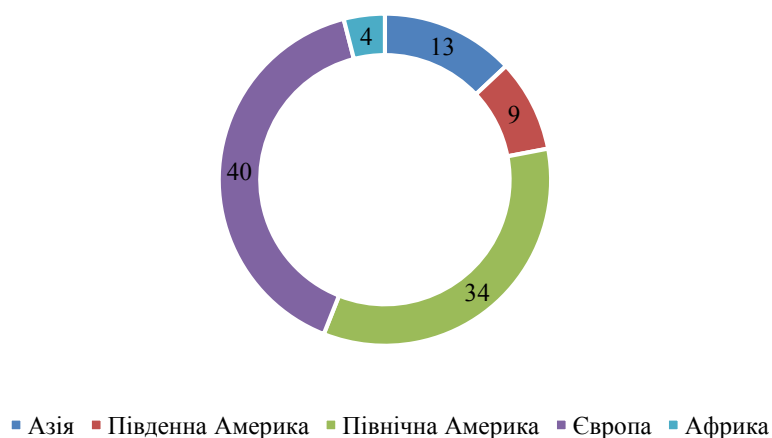
Аналітична компанія «TechNavio» представила прогноз розвитку глобального ринку кави в 2017—2021 рр., де закладено щорічне зростання ринку в обсязі майже 13% (рис. 1) [6].



**Рис. 1. Прогноз розвитку глобального ринку кави в 2017—2021 рр.**

Прогноз побудовано на аналізі споживання кави в період з 2013 по 2016 роки. В той час обсяг світового споживання кави зріс з 146964 тис. мішків у 2013 р. до 155459 тис. мішків у 2016 р., тобто спостерігається виражена позитивна динаміка.

Щодо географічної сегментації досліджуваного ринку, то за даними аналітично-консалтингової фірми «Mordor Intelligence», найбільша частка кави реалізується в Європі (40%). Друге місце за рівнем реалізації посідає Північна Америка (34%). Азія, Південна Америка і Африка, незважаючи на масове вирощування кави, споживають відповідно 13%, 9% і 4% від загального обсягу (рис. 2).



**Рис. 2. Сегментація глобального ринку кави за географічною ознакою**

Найбільш стрімкий розвиток ринку кави спостерігається у регіонах, де споживання кави знаходиться на низькому рівні. Проте фахівці зазначають, що ринки, які сьогодні мають найнижчий рівень споживання кави, матимуть швидкі темпи розвитку на початкових етапах, а в короткостроковій перспективі частки споживання цього продукту в різних регіонах світу будуть вирівняні.

Глобальний ринок кави має низку особливостей, які виділяють його серед інших ринків продовольчих товарів. Зокрема, він ще далекий до свого насичення, адже функціонує в умовах зростаючого попиту, передусім на високоякісну продукцію. Контролюється цей ринок на 90% транснаціональними компаніями, які займаються реекспортом і регіональною дистрибуцією. Європа займає домінуючі позиції на цьому ринку, незважаючи на те, що не вирощує каву. Як і будь-яка сфера господарювання, пов'язана з аграрною промисловістю, ринок кави характеризується постійним коливанням цін, викликаним зміною погодних умов і рівнем врожайності. На ціни цього ринку суттєво впливають соціально-економічні трансформації та зміни курсів валют у країнах-виробниках, а також спекуляції з вартістю сировини на міжнародних біржах [1].

На разі прогнози на останні декілька років підтвердились, тому варто очікувати подальшого зростання об'ємів споживання кави та кавових напоїв на ринку України впродовж найближчих років.

Основним компонентом кави є кофеїн, який одночасно є й однією з найбільш поширених психоактивних речовин у світі. Кофеїн цінується за його стимулюючу дію на центральну нервову систему. Побічною дією такої стимуляції є звикання та поява залежності. Кофеїн утворюється природним чином у багатьох рослинах (гуарана, какао тощо), але також може бути синтезований штучно.

Хімічно це метилксантин, сімейство, яке включає теofilін і теобромін. Метилксантини вивільняють катехоламіни, стимулюючи рецептори аденозину  $\beta_1$  і  $\beta_2$ ; блокують інгібуючий нейротрансмітер аденозину та інгібування фосфодіестерази, що призводить до збільшення внутрішньоклітинного циклічного аденозинмонофосфату (цАМФ).

Кофеїн має практично 100% біологічну доступність при вживанні пероральних шляхом. Його метаболізм відбувається в печінці системою P450 1-метилксантину, 7-метилксантину, 1,7-диметилксантину, 1-метилсечової кислоти, 1,3-метилсечової кислоти. Період напіввиведення становить 4,5 год у здорових людей [7].

У великих дозах кофеїн може викликати інтоксикацію організму. Інтоксикація кофеїном може мати різні прояви, і її часто важко розпізнати при наявності розпливчастого анамнезу пацієнта або головної скарги. Практично кожна система органів уражається при надмірному вживанні кофеїну (табл. 1). Пацієнти з інтоксикацією кофеїном часто скаржаться на нудоту і блювоту, які важко контролювати. Крім того, пацієнти можуть скаржитися на порушення, нервозність, головний біль, тремор і порушення сну. Більш небезпечні для життя прояви, які потребують додаткового обстеження і лікування, включають тахіаритмію і порушення електролітного балансу, включаючи гіпокаліємію, гіпомагніємію і гіпофосфатемію. Також можуть виникати гіперглікемія, метаболічний ацидоз з підвищенням рівня лактату в сироватці і судоми. Клінічна картина зазвичай проходить через 4—6 год після вживання. Особливості клінічного впливу кофеїну представлено у табл. 1 [7; 8].

Таблиця 1. Клінічний вплив кофеїну на системи організму

Система організму	Побічна дія
ЦНС	Агітація, подразливість, головний біль, втрата спокою, безсоння, марення, галюцинації
Серцево-судинна система	Розширення судин, підвищення $\text{CO}_2$ , стенокардія, приливи, пришвидшення серцебиття, синусова тахікардія
Шлунково-кишковий тракт	Гастрит
Бронхіальна система	Гладка м'язова релаксація
Опорно-рухова система	Деякі дані вказують на зниження мінеральної щільності кісток і пришвидшену втрату кісткової маси

Споживання кофеїну може викликати тривалий стрес в організмі шляхом конкурентного антагонізму аденозинових рецепторів, пригнічення фосфодіестерази та збільшення циркулюючих катехоламінів і внутрішньоклітинного цАМФ. Існує відповідне підвищення артеріального тиску і частоти серцевих скорочень, виділення глюкози крові печінкою, збільшення секреції шлункової кислоти, зниження тону нижнього шлункового сфінктера і посилення скорочувальної активності товстої кишки. Ці клінічні ефекти роблять споживання кофеїну особливо важливим при наданні допомоги пацієнтові з гіпертонією, цукровим діабетом, гастроезофагеальної рефлюксною хворобою або синдромом подразненого кишечника [2; 7].

Кофеїн дозволяється виводити з раціону тільки поступово. Зниження добового споживання пацієнта протягом певного періоду часу може знизити ймовірність симптомів відміни або зменшити їх тяжкість. Однією зі стратегій може бути змішування кофеїновмісних напоїв з напоями без кофеїну, кінцева мета полягає в тому, щоб спонукати пацієнта частково або повністю замінити кофеїновмісні напої з високим вмістом кофеїну більш корисними напоями, такими як вода, фруктові соки або напої без кофеїну [8].

Під час приготування кавових напоїв з мелених кавових зерен утворюється велика кількість відходів. Враховуючи обсяги виробництва і споживання кави, кількість відходів обчислюється мільйонами тонн. Точних значень немає, але обсяги відходів можна вирахувати на основі величин, що генеруються промисловістю. Кавова промисловість споживає приблизно 50% світових об'ємів виробництва натуральної кави на виробництво розчинної кави. Цей сектор промисловості утворює близько 6 млн т кавових відходів.

Для утилізації цих відходів було розроблено декілька технологій, але більшість з них не були впроваджені, тому, зазвичай, кавові відходи викидаються в навколишнє середовище, загрожуючи здоров'ю людей та забруднюючи довкілля.

Враховуючи, що величезна кількість кави вариться в маленьких кав'ярнях та в побуті, відходи переважно викидаються в сміття, а потім відправляються на звалище. Інший поширений спосіб — це змивання кавових відходів водою у стічну систему.

З цієї причини були проведені дослідження мутагенних, генотоксичних, цитотоксичних та екотоксичних ефектів кавових відходів після екстракції, які моделюють утилізацію кавових відходів на звалищах та в стічних водах.

Ці дослідження підтвердили, що, окрім відомих наслідків від вживання самої кави, кавові відходи можуть також спричиняти мутагенність, яка залишається у вилуженому екстракті після утилізації на звалищах, а також у запасах води. Тож кави,

викинута в навколишнє середовище, загрожує здоров'ю людей та довкіллю, оскільки ця сполука може спричинити пошкодження ДНК та бути токсичною для водних організмів. Дослідження свідчать про необхідність утилізації відходів кави іншими способами для зменшення їх впливу на здоров'я людей та навколишнє середовище [9].

Технології утилізації кавових відходів передбачають багато видів переробки, наприклад, переробку на біогумус. Цей метод вважається одним з найбільш ефективних. Переробка на біогумус здійснюється з використанням каліфорнійського черв'яка. В основну суміш його харчування додають до 10% кавової гущі. За рік усього 2000 черв'яків переробляють в середньому 1 т відходів, в результаті чого утворюється 500 л біогумусу [10]. В Україні розроблено технологію перетворення кавових відходів у сонцезахисні окуляри методом пресування кавової гущі [11].

Є технології, які передбачають переробку кавових відходів на дизельне паливо. Паливо з додаванням кавової гущі в процесі виробництва має нижчий викид  $\text{CO}_2$  та  $\text{CO}$ , але мають більші викиди  $\text{NO}_x$ . Проте біодизель з використанням кавової гущі має нижчі показники потужності й теплової ефективності [12].

Кавові відходи знайшли використання і в садівництві. При змішуванні їх з ґрунтом покращується його структура, ґрунт стає розпушеним. Це дуже корисна властивість для глинистих ґрунтів. Проте гущею можна удобрювати далеко не всі види рослин [13].

Незважаючи на величезне різноманіття технологій з утилізації кавових відходів, все ж треба шукати більш ефективні технології, які матимуть глобальне практичне значення. Екологічно свідомі люди вже починають зменшувати споживання кави або зовсім від неї відмовляються, коли усвідомлюють масштаби проблеми кавових відходів. Одним зі способів боротьби з цією проблемою є виробництво аналогів кави, зокрема кавового напою з більш екологічної сировини.

Один з найбільш розповсюджених видів сировини у світі є зернова сировина. Сільське господарство розвинене майже в усіх країнах світу, а в деяких країнах це основний економіко утворюючий напрямок розвитку.

Серед культур, що культивуються, поширеним є ячмінь. Ячмінь є важливим кормовим зерном у багатьох районах світу, які не підходять для виробництва кукурудзи за кліматом, особливо в північних країнах, наприклад, у північній та східній Європі. Ячмінь є основним кормовим зерном у Канаді, Європі та на півночі США. Половина врожаю ячменю у Сполучених Штатах використовується як корм для худоби.

Більша частина решти ячменю використовується у пивоварінні, для якого ячмінь є найкращим зерном. Це ключовий компонент у виробництві пива і віскі. Дворядний ячмінь традиційно використовується в німецькому та англійському пиві. У США для виробництва пива традиційно використовувався шестирядний ячмінь, але нині застосовуються обидва сорти. В Ірландії та Шотландії ячмінь є основним компонентом віскі [14].

Існують безалкогольні напої, такі як ячмінна вода і ячмінний чай, що виготовляються шляхом кип'ятіння ячменю у воді. З ячменю також часто виготовляють сурогати кави (ячмінна кава). Цей напій може бути приготовлений з використанням кавоварки чи звичайним запарюванням. В Італії ж ячмінна кава широко використовувалася під час фашистського періоду через блокаду і проблеми з імпортом кави. Пізніше напій продавався як аналог кави для дітей.



Нині ячмінна кава переживає відродження як альтернатива кави для людей, яким, за станом здоров'я, кофеїн вживати не рекомендується. Згідно з нещодавніми дослідженнями, вживання цілих зерен ячменю може регулювати рівень цукру в крові (наприклад, обмежити підвищення вмісту глюкози в крові під час вживання їжі) протягом 10 год після споживання. Ефект пояснюють специфікою ферментації нестравних вуглеводів. Напій із зерен ячменю допомагає при лікуванні захворювань нирок і травної системи, часто використовується в лікуванні молочних залоз.

Через відсутність кофеїну, загальну поживність ячменю, вміст у ньому вітамінів В, D, Е, корисних мінеральних речовин (фосфору та магнію), а також гордецину, що має антибіотичні та тонізуючі властивості, ячмінна кава використовується як альтернатива звичайній каві, зокрема в дитячому харчуванні та в дієті людей із серцево-судинними захворюваннями [15].

Окрім цього, через меншу собівартість ячмінного борошна, воно застосовується при нелегальній підробці звичайної кави.

На смак ячмінна кава найбільше нагадує капучино, особливо якщо готувати напій на молоці. При заварюванні утворює густу і високу пінку, аромат має тонкий, хлібний. Якщо в складі є цикорій, то аромат збагачується кавовими нотками, якщо використовувати чистий ячмінь, то не варто очікувати від напою знайомого аромату свіжозмелених кавових зерен.

Класична технологія виготовлення ячмінної кави передбачає обсмажування ячмінних зерен до появи темного кольору, але не можна щоб вони підгорали. Далі їх перемелюють і заварюють. Готовий напій матиме темний колір і відповідний зерновий аромат [16].

Ця технологія може бути вдосконалена, якщо замість обсмажування простого ячменя обсмажувати ячмінний солод. Залежно від температури обсмажування у ячмінному солоді може відбуватись як меланоїдиноутворення, так і карамелеутворення.

Процес солодощення має на меті викликати в зерні пов'язані з цим процесом хімічні зміни, головним у цьому процесі є утворення одного типу сполук — ферментів. Під час солодощення утворюються цитолітичні, протеолітичні та амілолітичні ферменти. Кінцевою метою дії ферментів на зерно є перетворення високомолекулярних сполук на низькомолекулярні, головним процесом є перетворення крохмалю на декстрини та мальтозу — солодовий цукор, що має здатність до бродіння. Під дією ферментів білки розщеплюються на окремі амінокислоти, що створює сприятливі умови для реакції Маяра при відповідній тепловій обробці [17].

З вологого свіжопросолодого солоду, що містить крохмаль, мальтозу і моносахариди, ступінчастим нагріванням отримують карамельний солод (світлий, середній, темний), кольоровість якого обумовлена, крім меланоїдинів, і продуктами карамелізації вуглеводів.

Розглянемо утворення кольору при тепловій обробці солодової сировини, адже кольоровість — один з найважливіших параметрів якості карамельного та інших видів солоду. Маса кольорових речовин у солоді дуже мала, але вплив на якість (колір, аромат, смак) значний. Існують дві групи кольорових речовин — рослинного і промислового походження. До рослинних кольорових речовин можна віднести хлорофіли, каротин, ксантофіл, флавоноїди. Кольорові речовини штучного походження поділяють на чотири групи: меланіни, меланоїдини, продукти термічної карамелізації вуглеводів і продукти кислотно-лужного розкладання вуглеводів.

Меланіни — це природні продукти ензиматичного покоричневіння. У слабкокислому середовищі у присутності ферменту фенолоксидази фенольні компоненти сировини окислюються до хінонів, потім до меланінів та інших коричневих полімерів. Ці речовини добре розчиняються у воді, тому в ході технологічних процесів частина їх потрапляє у кінцеві продукти.

Меланоїдіни утворюються в результаті реакції Маяра — однієї з найважливіших біохімічних реакцій в технології харчових продуктів, що відбувається в результаті взаємодії моносахаридів і аміносполук, найчастіше амінокислот. При підвищенні температури і рН швидкість реакцій прискорюється. Це не одна реакція, а безліч, що відбуваються паралельно і послідовно і завершуються утворенням багатокомпонентної темно-коричневої суміші з рубіновим відтінком.

Продукти термічної карамелізації вуглеводів утворюються при термічній обробці цукрів (мальтози, глюкози). Спочатку вони плавляться, утворюючи безбарвну слабкокислу рідину, а потім темнішають з виділенням карамельного аромату.

Продукти кислотно-лужного розкладання вуглеводів — це продукти, що утворюються в слабкокислих і слабколужних середовищах. В таких умовах відбувається активне розкладання моносахаридів з утворенням органічних кислот (молочної, мурашиної, оцтової, щавлевої та ін.), а потім і безазотистих кольорових речовин. Відсутність моносахаридів у вихідній сировині не перешкоджає формуванню кольоровості. При підвищених температурах дисахариди швидко гідролізуються до моносахаридів, які і є джерелом появи безазотистих кольорових речовин.

У процесі обсмажування солоду утворені продукти термічної карамелізації можуть надати напою гіркуватого присмаку, оскільки утворені карамелі є гіркими на смак. За умови такої обробки напій з обсмаженого ячмінного солоду може наблизитись до кави за смаковими властивостями.

Також існує такий різновид солодку, як палений солод. Його виготовляють обсмажування при високих температурах з періодичним продуванням холодним повітрям. При внесенні в невеликих кількостях такий тип солоду може надати напою дуже темного кольору і гіркокого смаку [18].

**Висновки та перспективи подальшого розвитку.** Перспективи розвитку ринку кави та кавових напоїв є очевидними. Всі аналітичні дослідження цього ринку вказують, що попит буде зростати з кожним наступним роком. Компанія, яка буде мати ширший асортимент продукції, матиме конкуренту перевагу перед іншими компаніями на ринку, тому актуальними є теоретичні дослідження та розробка нових типів кавових напоїв.

Однак вживання кави може мати негативний вплив на здоров'я, починаючи з виникнення слабкої залежності і закінчуючи зловживанням цим напоєм. Для деяких споживачів існують протипоказання до вживання, тому кофеїн шкідливий навіть у маленьких дозах. Така категорія споживачів весь час знаходиться в пошуках аналогів або замінників натуральної кави.

Одним із найбільш суттєвих недоліків натуральної кави є невирішена проблема утилізація кавових відходів у світовій практиці. Проблеми з утилізацією кавової гущі призводять до забруднення стічних вод та довкілля. Незважаючи на величезне різноманіття способів утилізації, жоден з них не набув глобального поширення, тому проблема досі не вирішена.

З огляду на вищеперераховані проблеми, є обґрунтованою розробка схожих за смако-ароматичними властивостями кавових напоїв. Нові кавові напої мають воло-

діти функціональними властивостями, виробляти з екологічної придатної до утилізації після переробки сировини, а також мати відповідні органолептичні показники.

Огляд наукових досліджень показав, що перспективним є продукт, який можна виготовити за технологією ячмінної кави, замінивши зернову сировину на солодову сировину. Використання ячмінного солоду, замість простих зерен ячменю, дасть отримати солодко-гіркий смак і кращий колір при обсмажуванні, оскільки ферментовані високомолекулярні сполуки ефективніше вступають у реакції меланоїдиноутворення та карамелізації. Проведення подальших досліджень є науково обґрунтованим.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Зибарева О. В. Ринок кави в Україні: поточний стан та перспективи розвитку / О. В. Зибарева, Т. А. Воронюк // Економічний форум: Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, 2018. — С. 25—30.
2. Захарова Д. И. Использование кофе в питании: вред и польза / Д. И. Захарова // Збірник наукових праць VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції. — 2018. — С. 419—421.
3. Духницький Б. В. Основи функціонування ринку кави та чаю в Україні / Б. В. Духницький // Економіка АПК. — 2016. — № 2. — С. 59—62.
4. International Coffee Organization [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ico.org/>.
5. Pro-consulting [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/issledovanie-rynka-kofe-v-ukraine-2020-god/>.
6. BusinessWire [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.businesswire.com/news/home/20170712006258/en/>.
7. Деревцова А. А. Кофеин: интоксикация и зависимость / Деревцова А. А., Кавыев А. А., Махкамов С. А. // EurasiaScience Сборник статей XXV международной научно-практической конференции, часть I Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2019. — С. 33—35.
8. Cano-Marquina A. The impact of coffee on health / A. Cano-Marquina, J. J. Tarín, A. Cano // Maturitas. — 2013. — 75. — P. 7—21.
9. Fernandes A. S. Impacts of discarded coffee waste on human and environmental health / A. S. Fernandes, F. V. C. Mello, S. Thode Filho and other // Ecotoxicology and Environmental Safety. — 2017. — 141. — P. 30—36.
10. Wog UA [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://wog.ua/ua/news-detail/wog\\_zapuskaye\\_pererobku\\_kavovoyi\\_guschi\\_na\\_biogumus/](https://wog.ua/ua/news-detail/wog_zapuskaye_pererobku_kavovoyi_guschi_na_biogumus/).
11. Forbes [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.forbes.com/sites/rebeccabanovic/2019/08/31/meet-the-ukrainian-start-up-turning-coffee-into-eyewear/?sh=457503b52334>.
12. Kamil M. Economic, technical, and environmental viability of biodiesel blends derived from coffee waste / M. Kamil, K. M. Ramadan, A. G. Olabi // Renewable Energy. — 2020. — 147. — P. 1880—1894.
13. Agronet [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://agronet.com.ua/kavovij-makuha-yak-dobrovo-zastosuvannya-na-gorodi-v-sadivnitstvi-video.html>.
14. North Dakota State University [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ag.ndsu.edu/publications>.
15. Komes D. Antioxidative potential of different coffee substitute brews affected by milk addition / D. Komes, A. Bušić, A. Vojvodić, A. Belščak-Cvitanović, M. Hruškar // European Food Research and Technology. — 2015. — 241(1). — P. 115—125.
16. Medfond [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://medfond.com/korysni-produkty/yachminna-kava-alternativa-zvichainii.html>.
17. Кунце В. Технология солода и пива: пер. с нем. / В. Кунце, Г. Мит. — СПб.: Профессия, 2001. — С. 93—180.
18. Ермолаева С. В. Формирование цветности в карамельном солоде / С. В. Ермолаева // Пиво и напитки. — 2015. — № 2. — С. 24—26.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ НАПИТОК ИЗ СОЛОДОВОГО СЫРЬЯ КАК ЗАМЕНТЕЛЬ НАТУРАЛЬНОГО КОФЕ

Е. И. Иванов, В. В. Шутюк

*Национальный университет пищевых технологий*

Объектом исследования являются потребности кофейного рынка в Украине и мире. Спрос на потребление кофе и кофейных напитков растет в течение последних десятилетий, эта тенденция будет сохраняться и дальше. Объемы кофейного рынка исчисляются миллионами тонн, однако с такими объемами потребления появляются огромные объемы отходов без эффективной технологии утилизации. Определенную долю потребителей составляют люди, которые по определенным причинам не могут или не хотят употреблять напитки с кофеином, однако ищут аналогичные по органолептическим показателям напитки. Теоретически обосновано проведение дальнейших исследований по разработке нового типа кофейного напитка, который может быть представлен совершенствованием классической технологии ячменного кофе за счет изменения исходного сырья. Напиток будет иметь приближенные к кофе вкусо-ароматические показатели и функциональные свойства.

**Ключевые слова:** кофейный напиток, солод, ячмень, кофе, кофейные отходы.

УДК 621.929:681.5.015:615.453.6.012

## DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE MIXING AND WETTING PROCESS OF THE TABLETING MIXTURES COMPONENTS

M. Bovt, O. Chepeliuk, O. Chepeliuk  
National University of Food Technologies

---

**Key words:**

mixing,  
wetting,  
tableting  
mixture,  
homogeneity,  
working member,  
rotational speed,  
stagnant zone

**Article history:**

Received 14.06.2021  
Received in revised form  
12.07.2021  
Accepted 10.09.2021

**Corresponding author:**

lenasandul@yahoo.com

---

**ABSTRACT**

To ensure the required compression and flowability of powdered masses, the accuracy of dosing, the required quality of solid dosage forms, it is necessary to pre-granulate.

A mixer-granulator with vacuum drying YC-SMGD-600 is considered. The object of research is one of the stages of the wet granulation process — mixing and wetting the components of the tablet mixture — ambroxol hydrochloride. Numerical experiments to determine the effect of shape, location and speed of the high-speed working body (chopper) in the mixer-granulator on the efficiency of mixing and wetting of components, the degree of homogeneity of the tableting mixture, process duration, mixture velocity distribution and particle removal height were carried out by means of the Flow Vision package. When modeling the process as a controlled factor that affects the degree of homogeneity of the mixture, the frequency of rotation of the high-speed working body — chopper — is considered. It is varied within 1720... 3440 rpm. For the impeller, it was maintained at 120 rpm.

It is recommended to increase the number of chopper blades from 4 to 8 with a change in their angle of inclination to the horizon from 30 to 60 degrees. The design of the chopper with the changed configuration is characterized by the best indicators of mixing quality, provides uniform wetting of components, however leads to reduction of average movement speed of mix in volume by 6,3% in comparison with a base variant. This can be explained by the decrease in the radial component of the velocity of the components due to the change in the angle of the chopper blades. Analysis of the velocity distribution field using two mixer designs showed that larger areas of stagnant zones are characteristic of the base case, which together with a less uniform distribution of components allows us to conclude that it is appropriate to replace it with the proposed improved option.

It is established that when placing the chopper on the wall of the tank, the required uniformity of distribution of components for a technologically justified time (20 minutes) is not achieved. The vertical placement of the chopper on the equipment cover increases the number of counter-flows of material, ensures the desired uniformity of distribution of components and the absence of stagnant zones. With a doubling of the chopper speed, the area of stagnant zones is reduced by 3.6 times, but almost 4 times is increased the particles removal height. The intensity of change of these phenomena is significantly slowed down when the speed of the working body is increased over 2520 rpm.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-8

---

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ І ЗВОЛОЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ТАБЛЕТУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

М. М. Бовт  
О. О. Чепелюк  
О. М. Чепелюк

Національний університет харчових технологій

*Для забезпечення необхідної пресованості і сипкості порошкоподібних мас, точності дозування, необхідної якості твердих лікарських форм потрібно заздалегідь провести грануляцію. У програмному комплексі Flow Vision виконані обчислювальні експерименти з визначення впливу форми, розміщення і частоти обертання швидкохідного робочого органа (чопера) у змішувачі-грануляторі на ступінь однорідності суміші для таблетування, тривалість процесу, розподіл швидкостей суміші та висоту винесення часточок. Рекомендовано збільшити кількість лопатей чопера з 4 до 8 із зміною їх кута нахилу до горизонту із 30 до 60 градусів. Вертикальне розміщення чопера на кришці обладнання збільшує кількість зустрічних потоків матеріалу, забезпечує отримання потрібної рівномірності розподілу компонентів і відсутність застійних зон. Зі збільшенням вдвічі частоти обертання чопера площа застійних зон скорочується в 3,6 раза, однак майже в 4 рази збільшується висота винесення часточок. Інтенсивність зміни цих явищ суттєво уповільнюється при збільшенні частоти обертання робочого органа понад 2520 об/хв. **Ключові слова:** змішування, зволоження, суміш для таблетування, однорідність, робочий орган, частота обертання, застійна зона.*

**Постановка проблеми.** Для забезпечення необхідної пресованості і сипкості порошкоподібних мас, точності дозування, необхідної якості твердих лікарських форм потрібно заздалегідь провести грануляцію, яка являє собою направлене укрупнення часточок – процес перетворення порошкоподібного матеріалу на зерна певної величини.

Волога грануляція, яка нині є основним видом грануляції у виробництві таблеток, має ряд недоліків: дія вологи на лікарські й допоміжні речовини; тривалість і трудомісткість процесу; вартість устаткування.

Новітні розробки в технологіях вологого гранулювання реалізуються в обладнанні із псевдозрідженим шаром і змішувачах-грануляторах з великим зусиллям зсуву [1]. Як правило, це обладнання комбінованого типу, в якому здійснюється і наступна стадія процесу — сушіння грануляту.

На етапах змішування сухих інгредієнтів і грануляції, яка починається з введення зв'язуючого розчину в масу, що гранулюється, в робочому об'ємі змішувача-гранулятора відбувається взаємне переміщення часточок діючої речовини і допоміжних компонентів, утворення ядер гранул при початковому контакті з краплинами зв'язуючого розчину. На початкових етапах процесу вологого гранулювання при виробництві твердих лікарських форм потрібно забезпечити швидке перемішування компонентів таблетувальних сумішей та їх рівномірне зволоження. Визначальний вплив на це мають геометричні особливості й режими роботи робочих органів (перемішуючих пристроїв) — імпелера і чопера. Лопатевий змішувач (імпелер), розташований у нижній частині місткості, призначений для створення великих зусиль зсуву і стиснення маси для ефективного гранулювання. Робочим органом, який

забезпечує зменшення розміру агломератів при грануляції, додатково ущільнює масу і надає можливість рівномірніше розподілити зв'язуючий розчин, є високошвидкісна мішалка — чопер.

Дослідити однорідність утвореної суміші, яка є випадковою величиною, достатньо складно. В умовах виробництва раціональні режими при виготовленні твердих лікарських форм різного складу визначають експериментально, використовуючи томографічні, спектрографічні, так звані «вологі методи» дослідження, досліджуючи зображення або властивості часточок суміші [2].

Іншим шляхом є імітаційне моделювання з використанням різних пакетів прикладних програм [3], при цьому вибір керованих факторів — швидкості подачі зв'язуючої рідини, геометричних параметрів і режимів роботи робочих органів — обумовлений їх визначальним впливом на утворення агломератів.

Досягти однорідності суміші, яка відповідає вимогам технологічного процесу, можливо шляхом здійснення тривалого оброблення сировини, але при цьому збільшується час контакту речовини з робочими органами, чого слід уникати при обробці деяких хімічно-активних продуктів [4; 5], і зростають витрати енергії. Потрібно шукати шляхи інтенсифікації процесу, якими, зокрема, є його здійснення при раціональних режимах роботи для існуючих зразків обладнання, їх удосконалення та проектування нових. Визначення умов, які забезпечують рівномірний розподіл компонентів у суміші, є актуальним завданням і частиною загальної проблеми — підвищення ефективності процесу гранулювання сумішей для таблетування.

**Метою дослідження** є визначення ступеня однорідності зволоження сипкої суміші, необхідної тривалості перемішування сипких компонентів із зв'язуючим розчином залежно від геометричних параметрів робочих органів і режимів їх роботи.

**Матеріали і методи.** Розглядається змішувач-гранулятор з вакуумним сушінням YC-SMGD-600. Об'єктом досліджень є один з етапів процесу вологої грануляції — змішування і зволоження компонентів таблетувальної суміші — амброксолу гідрохлорид.

Процес промодельований у програмному комплексі Flow Vision. Вирішена проблема змішування сипких компонентів з гранулюючою рідиною. Для спрощення розрахунків розглянуто зволоження однорідної сипкої речовини, до складу якої входять діюча і допоміжні речовини.

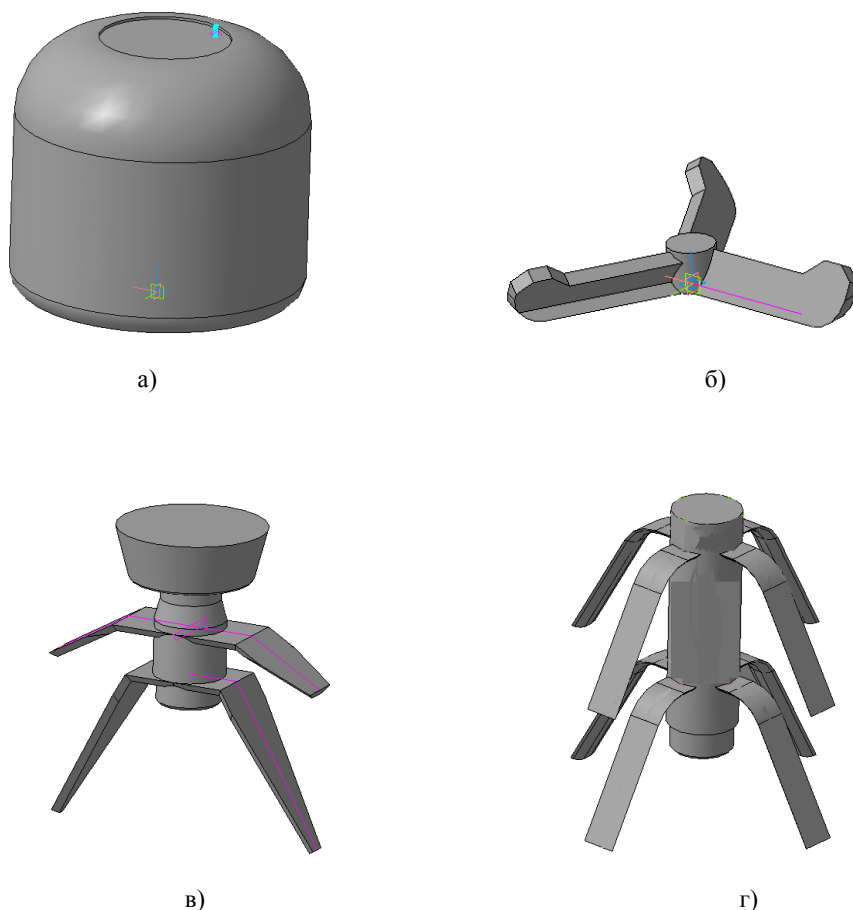
Геометричні моделі елементів обладнання (рис. 1) створені в програмі Компас 3D (наведено не в масштабі).

При моделюванні процесу як керований фактор, який впливає на ступінь однорідності суміші, розглянуто частоту обертання швидкохідного робочого органа — чопера, яка змінювалася в межах 1720...3440 об/хв. Для імелера вона підтримувалася на рівні 120 об/хв. Розглянуто вплив конструкції чопера та його розміщення в місткості на ефективність процесу змішування і зволоження компонентів.

Якість процесу зволоження залежить від розміру крапель зв'язуючої речовини та швидкості її подачі. З урахуванням сил, які діють на краплину рідини (сила Архімеда і сила тяжіння), для краплі діаметром 740 мкм обчислена швидкість її падіння, яка використана при постановці задачі як гранична умова.

При постановці задачі вказані об'єми, які займають компоненти до початку змішування.

Якісне й ефективне змішування компонентів означає їх рівномірний розподіл в об'ємі змішувача-гранулятора і недопущення утворення крупних грудочок. Використовуючи програму FlowVision, ці показники можна дослідити, проаналізувавши параметри «концентрація» і «швидкість».



**Рис. 1. Геометричні моделі елементів змішувача-гранулятора:**

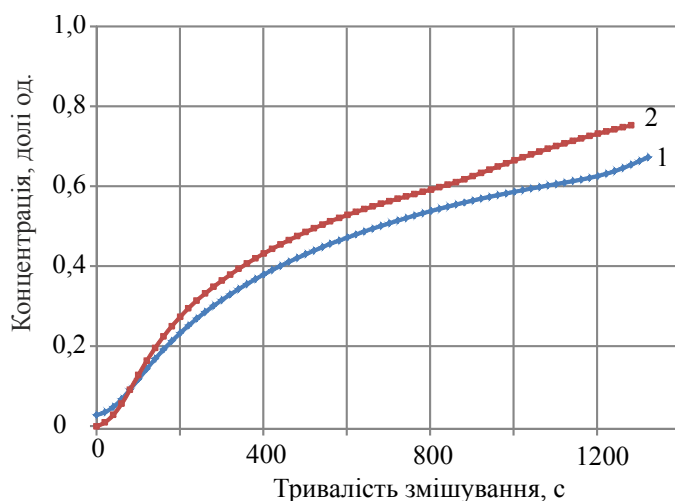
а — місткість; б — імпелер; в — базова конструкція чопера;  
г — удосконалена конструкція чопера

**Результати дослідження.** Чопер (подрібнювач) запобігає надмірному збільшенню розмірів гранул і розподіляє зв'язуючу рідину всередині продукту. Було досліджено вплив двох конфігурацій чопера Ч базової та удосконаленої (див. рис. 1 в, г) — на концентрацію готової суміші для гранулювання при інших рівних умовах (рис. 2).

Встановлено, що використання базової конфігурації чопера (рис. 2, крива 1) спричиняє значно повільніше досягнення заданої концентрації суміші, що може призводити до інтенсивнішого утворення агломератів грануляту та менш рівномірного зволоження компонентів.

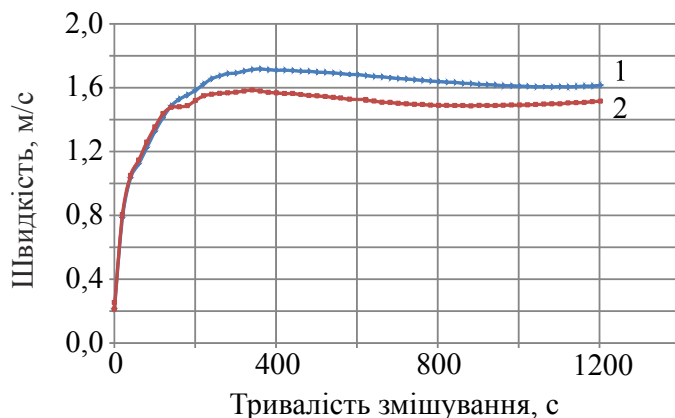
Конструкція чопера зі зміненою конфігурацією лопатей, кількість яких збільшена вдвічі порівняно з базовим варіантом, а кут нахилу верхнього ряду лопатей до горизонту змінений від 30 до 60 градусів, характеризується кращими показниками якості змішування і може бути рекомендована до використання в обладнанні, аналогічному до розглянутого.





**Рис. 2. Зміна концентрації суміші компонентів у часі при використанні різних конструкцій чопера: 1 — базова; 2 — удосконалена**

Однак зміна конструкції чопера призводить до зменшення середньої по об'єму місткості швидкості руху суміші (рис. 3) на 6,3% порівняно з базовим варіантом.



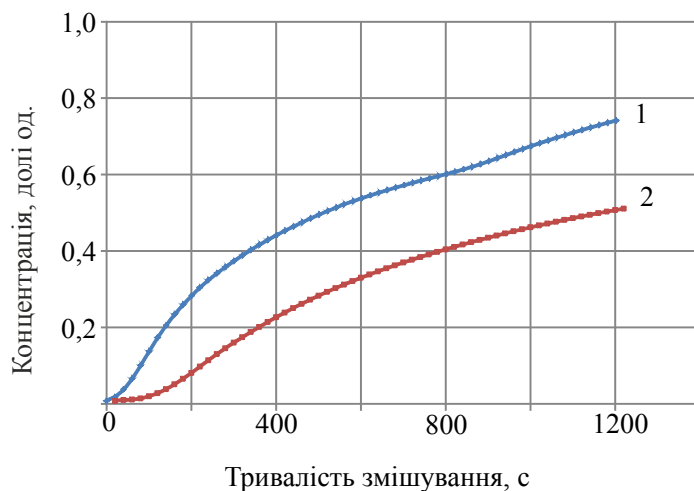
**Рис. 3. Зміна швидкості суміші компонентів у часі при використанні різних конструкцій чопера: 1 — базова; 2 — удосконалена**

Це можна пояснити зменшенням радіальної складової швидкості компонентів унаслідок зміни кута нахилу лопатей чопера. Проте в конструкціях змішувачів важливе значення має не тільки величина швидкості, а й її рівномірність по об'єму місткості, тобто слід забезпечити відсутність застійних зон. За ДСТУ ISO 14159, застійна зона — місце, в якому продукт, добавки, засоби для очищення або дезінфекції можуть затримуватися, залишатися або не повністю видалятися в процесі очищення.

Проаналізувавши поля розподілу швидкості при використанні двох конструкцій змішувачів, слід зазначити, що більші площі таких застійних зон характерні для базового варіанта, що в сукупності з менш рівномірним розподілом компонентів надає можливість зробити висновок про доцільність його заміни на запропонований удосконалений варіант.

Відомі конструкції змішувачів-грануляторів, в яких вал чопера розміщений горизонтально, а сам він встановлений на стінці місткості. Потреба визначити найбільш раціональне розміщення швидкохідного перемішуючого пристрою в змішувачі-грануляторі обумовила необхідність проведення ще однієї серії експериментів, результати яких наведені на рис. 4—5.

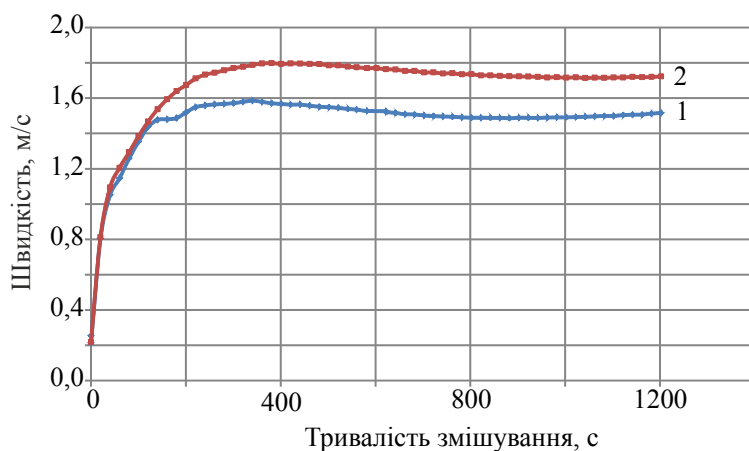
Встановлено, що при розміщенні чопера на стінці потрібна рівномірність розподілу компонентів протягом технологічно обґрунтованого часу (20 хв) не досягається.



**Рис. 4. Зміна концентрації суміші компонентів у часі при розміщенні удосконаленого чопера:**

1 — на кришці місткості; 2 — на стінці місткості

При розміщенні чопера на стінці місткості швидкість суміші для гранулювання більша, ніж при його встановленні на кришці (рис. 5).



**Рис. 5. Зміна швидкості суміші компонентів у часі при розміщенні чопера:**

1 — на кришці місткості; 2 — на стінці місткості

Це пояснюється тим, що при розташуванні чопера на стінці потоки матеріалу, сформовані тихохідним (імпелер) і швидкохідним (чопер) робочими органами, руха-

ються в різних напрямках, створюючи додаткове прискорення часточок зволоженого матеріалу. Натомість при верхньому розміщенні чопера збільшується кількість зустрічних потоків матеріалу, що призводить до уповільнення його руху.

Однак, як і при дослідженні впливу на процес змішування форми робочого органу, перевагу слід надавати такому варіанту, який забезпечить якісніший перебіг процесу — отримання потрібної рівномірності розподілу компонентів і відсутність застійних зон.

Це притаманно для вертикального встановлення чопера на кришці обладнання (рис. 6). Саме така конфігурація чопера і його розміщення є більш раціональним варіантом, який використано в подальших дослідженнях.

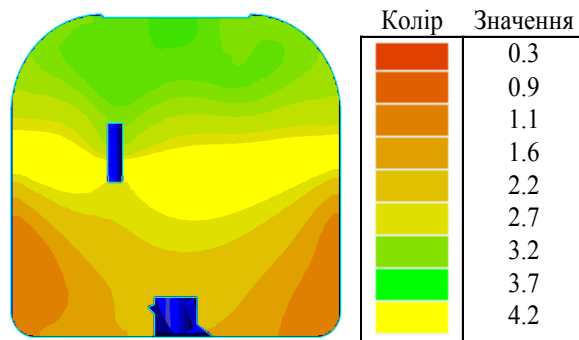


Рис. 6. Поле розподілу швидкостей з чопером, розміщеним на кришці місткості

Окрім конфігурації робочого органу, важливі також режими його роботи, насамперед частота обертання. За паспортними даними вона може збільшуватися вдвічі — від 1720 до 3440 об/хв. Це впливає як на витрати потужності при змішуванні, так і на ефективність реалізації процесу. Оцінити її можливо, дослідивши величину застійних зон і висоту винесення часточок матеріалу в процесі змішування його компонентів.

Зі збільшенням вдвічі частоти обертання площа застійних зон скорочується в 3,6 раза, однак в 4 рази збільшується висота винесення часточок (рис. 7).

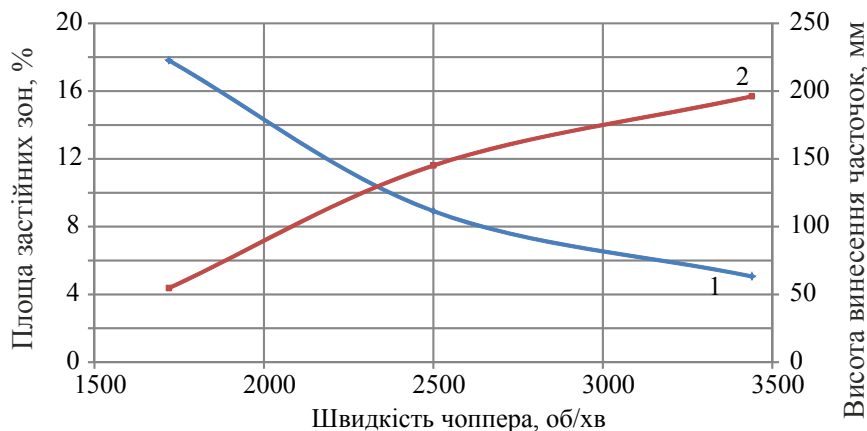


Рис. 7. Вплив частоти обертання на площу зон з уповільненим рухом матеріалу 1 та висоту винесення часточок матеріалу 2

Площа застійних зон різко скорочується при збільшенні частоти обертання чопера від 1720 до 2500 об/хв. Подальше її збільшення характеризується зменшенням інтенсивності зміни цієї величини. Приріст висоти винесення при 2520 об/хв також зменшується, хоча менш істотно, порівняно з площею застійних зон (табл. 1).

**Таблиця 1. Вплив частоти обертання на площу застійних зон і висоту винесення часточок матеріалу**

Швидкість чопера, об/хв	Площа зон, %	Висота винесення часточок матеріалу, мм
1720	17,81	54,6
2520	8,91	145,1
3440	5,06	196,1

Тож можна рекомендувати як нижню границю частоти обертання чопера швидкість 2520 об/хв.

**Висновки.** Використання базової конфігурації чопера має ряд недоліків, основним з яких є велика площа зон з уповільненим рухом матеріалу, що призводить до погіршення якості вихідного грануляту. Удосконалений варіант чопера, встановленого в кришці змішувача-гранулятора, має більшу, порівняно з базовим варіантом, площу контакту з матеріалом, при цьому значно зменшується об'єм застійних зон і скорочується тривалість процесу рівномірного зволоження компонентів. Рекомендованим значенням частоти обертання чопера є швидкість 2520 об/хв.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Berthiaux, H. Continuous mixing of powder mixtures with pharmaceutical process constraints / Henri Berthiaux, Khadija Marikh, Cendrine Gatamel // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. — 2008. — Volume 47, Issue 12. — P. 2315 — 2322.
2. Asachi, M. A review of current techniques for the evaluation of powder mixing / M. Asachi, E. Nourafkan, A. Hassanpour // Advanced Powder Technology. — 2018. — 29. — P. 1525 — 1549.
3. Mixing and Dissolution Processes of Pharmaceutical Bulk Materials in Stirred Tanks: Experimental and Numerical Investigations / T. Hörmann, D. Suzzi, J. G. Khinast // Ind. Eng. Chem. Res., 2011, 50(21). — P. 12011—12025.
4. Hersey, J. A. Powder Mixing: Theory and Practice in Pharmacy / J. A. Hersey // Powder Technology. — 1976. — № 15. — P. 149—153.
5. Pharmaceutical Blending and Mixing / P. J. Cullen, Rodolfo J. Romañach, Nicolas Abatzoglou, Chris D. Rielly // Wiley Online Library. — Published Online: 15 May 2015.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ И УВЛАЖНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТАБЛЕТИРУЕМЫХ СМЕСЕЙ

**М. М. Бовт, Е. А. Чепелюк, А. Н. Чепелюк**

Национальный университет пищевых технологий

*Для обеспечения необходимой прессованности и сыпучести порошкообразных масс, точности дозирования, необходимого качества твердых лекарственных форм, нужно заранее провести грануляцию. В программном комплексе Flow Vision выполнены вычислительные эксперименты по определению влияния формы, размещения и частоты вращения быстроходного рабочего органа (чоппера) в смесителе-грануляторе на степень однородности смеси для таблетирования,*

продолжительность процесса, распределение скоростей смеси и высоту вынесения частиц. Рекомендовано увеличить количество лопастей чоппера с 4 до 8 с изменением их угла наклона к горизонту с 30 до 60 градусов. Вертикальное размещение чоппера на крышке оборудования увеличивает количество встречных потоков материала, обеспечивает получение нужной равномерности распределения компонентов и отсутствие застойных зон. С увеличением вдвое частоты вращения чоппера площадь застойных зон сокращается в 3,6 раза, однако почти в 4 раза увеличивается высота вынесения частиц. Интенсивность изменения этих явлений существенно замедляется при увеличении частоты вращения рабочего органа более 2520 об/мин.

**Ключевые слова:** смешивание, увлажнение, смесь для таблетирования, однородность, рабочий орган, частота вращения, застойная зона.

УДК 621.01

## DYNAMICS OF TRANSITION PROCESSES IN DRIVES TECHNOLOGICAL MACHINES

**O. Stepanets, V. Kostyuk, D. Pryhodii, J. Stupak***National University of Food Technologies***Key words:**

transient process,  
dynamics,  
recovery,  
kinetic energy,  
flywheel,  
uniformity of machines,  
useful resistance,  
harmful resistance

**Article history:**

Received 10.04.2021  
Received in revised form  
16.06.2021  
Accepted 01.07.2021

**Corresponding author:**

Mif63@i.ua

**ABSTRACT**

The article deals with the dynamics of transients and recovery of kinetic energy in runtime modes in cyclically operating equipment with the possibility of limiting the unevenness of the machines.

It is shown that energy costs in technological machines are associated with overcoming useful and harmful resistances. The consequence of overcoming useful resistances is the performance of technical tasks, and harmful supports are more often manifested in the form of friction forces. The end result in both cases ends in energy dissipation, which means the irreversibility of these losses. It is determined that the source of possible energy dissipation is kinetic energy in periods of runaways and regimes of forced braking, and the unevenness of the machines is associated with the inequality of driving forces and resistance forces in some areas of the leading links. The role of kinematic parameters in combination with their dynamic loads and energy costs and moving masses at restrictions of unevenness of a course of leading links and cars as a whole, including at the expense of installation of flywheels is emphasized. In general cases, the structure of technological machines, the latter perform the role of automatic accumulators of kinetic energy with parameters that depend on the average speed and mass.

Mathematical formalizations of interrelations between kinematic, dynamic and energy parameters are given. The role of the effects of gravity and inertia on the unevenness of the driving links in the drives and the feasibility of eliminating the effects of gravity due to the transition to systems with a horizontal orientation of the movements of moving parts. It is determined that an important measure for energy recovery is the creation and use of parallel flows with modes of operation of working bodies in antiphases and the fact that solving problems of kinetic energy recovery in cyclic systems simultaneously lead to limiting the unevenness of machines by translating inertia into driving factors.

An example of the implementation of a storage device system with multi-row flows in which asynchronous dynamic effects with their mutual total neutralization are generated is given. The conditions for the implementation of recovery modes are determined, taking into account the ratios of the work forces of useful and harmful resistances with the level of kinetic energy of the system at the beginning of the run-out modes.

The mathematical apparatus of separation of energy potentials in machines with partial stop of moving masses in the presence of masses in the modes of continuous motion is presented.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-9

---

## ДИНАМІКА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИВОДАХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

О. І. Степанець, канд. техн. наук

В. С. Костюк, канд. техн. наук

Д. В. Пригодій, канд. техн. наук

Ю. О. Ступак

Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено динаміку перехідних процесів і рекуперацію кінетичної енергії в режимах вибігів у циклічно діючому обладнанні з можливостями обмежень нерівномірності ходу машин. Наведено математичні формалізації взаємозв'язків між кінематичними, динамічними й енергетичними параметрами. Визначено умови реалізації режимів рекуперації з урахуванням співвідношень робіт сил корисного і шкідливого опорів з рівнем кінетичної енергії системи на початок режимів вибігу. Представлено математичний апарат поділу енергетичних потенціалів у машинах з частковою зупинкою рухомих мас за наявності мас у режимах неперервного руху.*

**Ключові слова:** перехідний процес, динаміка, рекуперація, кінетична енергія, маховик, рівномірність ходу машин, корисний опір, шкідливий опір.

**Постановка проблеми.** Проектування і розрахунок технологічних машин починається зі структурного синтезу, який надалі продовжується кінематичним і динамічним синтезом. Вирішення першої задачі приводить до уявлення щодо загальної побудови машини, яка в класичному розумінні має складатися з двигуна (або двигунів), передавально-перетворювальних механізмів і робочого органа (органів). Використання поняття множини значною мірою стосується обладнання автоматизованих потокових ліній підприємств харчової, мікробіологічної і фармацевтичної промисловостей. Часто одна машина може забезпечувати виконання кількох операцій і це означає наявність такої ж кількості робочих органів.

Завдання виконання вказаної сукупності має вкладатися в часові рамки і виконуватися в певній послідовності, що забезпечується за рахунок використання жорстких кінематичних зв'язків і засобів електричного, пневматичного або електронного контролю й керування. Об'єднуючий термін цієї сукупності забезпечення відповідає назві «Мехатроніка».

Кількапроцесна структура машини на основі мехатроніки відповідає системам циклічної дії. Останнє супроводжується особливостями змінних значень кінематичних і динамічних параметрів, результат сполучення яких відображується на енергетичних витратах у бік зростання.

Звернемося до відомого положення про триєдину сукупність кінематичних, динамічних і енергетичних параметрів. Очевидно, що закономірності кінематичних параметрів, окрім їх ролі у визначенні продуктивності машини, визначають динамічні навантаження відповідно до другого закону Ньютона й одночасно енергетичний потенціал у формі кінетичної енергії рухомих мас.

У циклічно діючій машині виникає необхідність після зупинок рухомих ланок забезпечувати повторно зростання їх швидкостей до номінальних. В режимах таких процесів робота рушійних сил, пов'язана з подоланням сил інерції, і дорівнює кінетичній енергії рухомих ланок у кожний момент перебігу циклічного процесу. Чергування режимів розгону і вибігу та можливого гальмування, до яких додаються змінні

значення технологічних опорів, оцінюються як параметри впливу, відповідальні за нерівномірність ходу машини. Це означає, що ведуча ланка машини має нестабілізовану швидкість руху, що приводить до додаткових збурень руху рухомих мас.

Рух ведучих ланок має циклічні періодичні та неперіодичні коливання. Останні виникають у випадках непрогнозованих впливів корисних або шкідливих опорів. У динаміці машин обмеження нерівномірності ходу ведучих ланок досягають встановленням маховиків у ролі акумуляторів кінетичної енергії [1; 2]. Нерівномірність ходу є наслідком нерівності рушійних силових факторів  $M_p$  і моментів сил опору  $M_{оп}$ . Характер впливу останніх відображується рівнянням руху, записаного для приведених параметрів:

$$I_{пр} \varepsilon = M_p - M_{оп}, \quad (1)$$

звідки залежність кутового прискорення  $\varepsilon$  ведучої ланки оцінюється співвідношенням різниці моментів і приведенного моменту інерції  $I_{пр}$  машини:

$$\varepsilon = \frac{M_p - M_{оп}}{I_{пр}}. \quad (2)$$

Відомі методи Періха, Мерцалова, Гутьєра та ін. [1—3] дають змогу вирішувати задачу стосовно маси і геометричних параметрів маховика, однак для машин з циклічним рухом ланок названі методи можуть оцінюватися лише відправними позиціями. Ситуація ще більш ускладнюється через наявність у приводах пружних ланок або хоча б ланок з обмеженою жорсткістю.

Особливості кінематики в русі робочих органів за наявності робочих і холостих ходів означають, що виконання кожного з них супроводжується етапами розгону і вибігу або гальмування, кожен з яких завершується зупинкою або зупинкою і вистосом у крайньому положенні [4; 5].

У машинах карусельного типу кожний робочий хід за наявності в ньому вказаних етапів завершується етапом вистою, протягом якого здійснюються синхронізовані операції, виконувані різними робочими органами. Реалізація таких крокових переміщень супроводжується відповідними кінематикою у формі певних законів, динамічними навантаженнями й енергетичними витратами. До останніх, окрім динамічних, додаються сили тертя, частіше у формі статичних, та силові фактори технологічних опорів.

У класичному розумінні динаміка машин присвячується регулюванню ходу й обмеженню динамічних навантажень [1—5] з практичною оцінкою енергетичних витрат, однак за відсутності варіантів щодо їх обмежень. Очевидно, що останнє пов'язано з відомим положенням про те, що робота сил рушійних і сил опору за цикл однакова, що дає змогу в існуючих методиках визначення параметрів маховиків нехтувати дією сил інерції і сил тяжіння. Разом з тим наявність етапів розгону означає змінні показники швидкості, максимальним значенням яких відповідають екстремуми кінетичних енергій. Оцінка можливостей подвійного обмеження динамічних навантажень і енергетичних витрат у перехідних режимах привернула увагу авторів у зв'язку з перспективою їх рекуперації [6—8]. Важливо, що результат поєднання двох вказаних напрямків відповідає обмеженню нерівномірностей ходу машин. Ця особливість визначає актуальність проблеми, що досліджується авторами цієї статті.

**Метою дослідження** є аналіз особливостей кінематики і динаміки машин циклічної дії з оцінкою можливостей рекуперації кінетичної енергії в режимах вибігів.



**Матеріали і методи.** Об'єктом досліджень є перехідні процеси в технологічних машинах циклічної дії із зіставленням динамічних навантажень як наслідків кінематичних параметрів та енергетичних витрат. На основі феноменологічних узагальнень оцінюються перспективи їх рекуперації.

**Результати дослідження.** Першопричиною динамічних навантажень у ланцюгу передавання руху від двигуна до робочого органа є різниця між рушійними факторами і параметрами опору. До числа останніх відносяться технологічні опори і шкідливі опори, частіше у формі сил тертя як на основній технологічній операції, так і в кінематичних парах. Прояви рушійних факторів з боку двигунів відповідають їх характеристикам, а змінна частина сил опору відображується законами руху, які реалізуються за рахунок приводів, у тому числі і за рахунок механізмів переривчастого ходу. Останні в значній кількості випадків поділяють машини на дві частини, а саме: на частину, в якій ротор двигуна деякі ланки руху не припиняють, і на частину ланок і робочого органа зі змінним характером руху і з зупинками. Це означає, що в період холостого ходу і в періоди вистоїв технологічні опори відсутні і кутова швидкість ротора двигуна відповідно до його статичної механічної характеристики зростає зі збільшенням кінетичної енергії рухомих ланок. Обмеження приросту швидкостей пов'язані з масою рухомих ланок, важливою складовою якої є ротор двигуна і маховик [9—11]. Кінетична енергія останнього пропорційна його моменту інерції  $I_m$  і квадрату кутової швидкості  $\omega$ :

$$E_{\text{кін}} = I_m \frac{\omega^2}{2}. \quad (3)$$

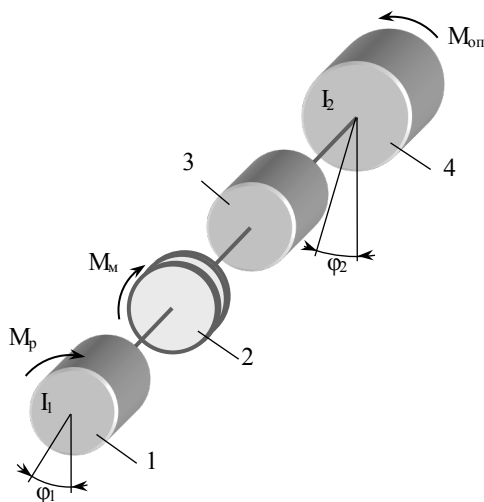
Залежність швидкості в межах від  $\omega_{\min}$  до  $\omega_{\max}$  від середнього значення  $\omega_{\text{сеп}}$  відображує коефіцієнт нерівномірності ходу машини  $\delta$ :

$$\delta = I_m \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{сеп}}}. \quad (4)$$

Значення коефіцієнта  $\delta$  наближено нормовані до класів машин з визначенням:

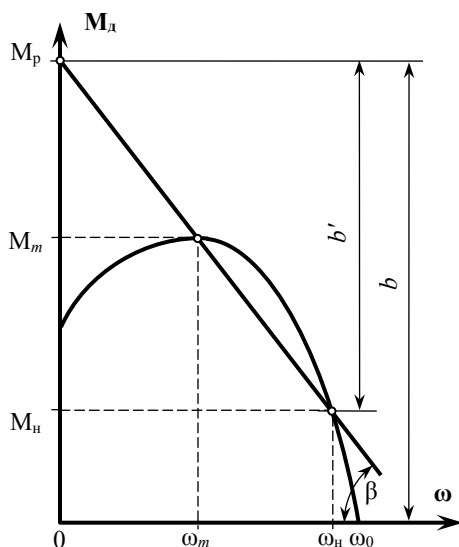
$$\omega_{\text{сеп}} = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2}. \quad (5)$$

Розглянемо випадок технологічної машини карусельного типу, в якій найбільшу рухому масу має карусель з кроковим кутовим переміщенням з відповідним механізмом забезпечення за наявності фрикційної муфти у складі привода. Системою керування остання замикається в періоди передавання руху від двигуна до каруселі і розмикається на етапі вибігу або тільки на етапі вистою. У першому випадку досягається можливість рекуперації кінетичної енергії каруселі і рухомих ланок, які наявні на ділянці після фрикційної муфти, в режимі вибігу. При цьому двигун привода і рухомі ланки разом із муфтою продовжують перебувати у стані руху. Саме завдяки цій особливості на наступному етапі розгону каруселі і відповідного переміщення має місце обмеження енергетичних витрат. Нагадаємо, що будь-який етап розгону рухомих мас супроводжується дією сил інерції, робота рушійних сил проти яких дорівнює кінетичній енергії рухомих мас. Останнє логічно означає головний недолік циклічних систем, у яких необхідно багаторазово забезпечувати режими розгону.



**Рис. 1. Розрахункова схема привода машини з кроковим переміщенням веденої ланки:**  
1 — двигун; 2 — фрикційна муфта; 3 — механізм крокових переміщень; 4 — ведена маса

Мінімальним енергетичним витратам відповідав би разовий пуск системи, а тому наявність вказаної муфти, що ділить привод машини на дві частини, є проміжним варіантом. Розрахункова схема такого випадку наведена на рис. 1. Приймаємо, що в приводі машини використовується асинхронний двигун з параметрами пускового  $M_p$ , максимального  $M_m$  і номінального  $M_n$  моментів і частотами обертання відповідно кутовим швидкостям  $\omega_m$ ,  $\omega_n$  і  $\omega_0$ . Сумарний момент інерції ротора і ведучої частини муфти позначимо як  $I_1$ . Аналогічно суму моментів інерції каруселі машини, механізму крокового переміщення і веденої частини муфти позначимо як  $I_2$ . Переміщенням ведучих і ведених мас відповідають кутові координати  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$ .



**Рис. 2. Статична механічна характеристика асинхронного двигуна**

Момент рушійних сил представлено величиною  $M_p$ , момент, що передається муфтою, —  $M_m$  і момент сил опору з боку веденої маси —  $M_{on}$ . На рис. 2 наведено загальний вид статичної механічної характеристики.

Змінні навантаження двигуна з боку веденої маси в режимах першого і другого етапів та вистою відображаються змінами  $M_p$  і відповідними значеннями  $\omega$  на жорсткій частині характеристики. Для можливості відображення цих змін у математичних моделях виконаємо апроксимацію характеристики значеннями, що відповідають моментам  $M_n$  і  $M_m$  і кутовим швидкостям  $\omega_n$  та  $\omega_m$ . Кут нахилу апроксимуючої лінії  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{M_m - M_n}{\omega_n - \omega_m}. \quad (6)$$

Координату  $b$  знайдемо з умови:

$$b = b' + M_n = \omega_n \operatorname{tg} \beta + M_n = \omega_n \frac{M_m - M_n}{\omega_n - \omega_m} + M_n. \quad (7)$$

Тоді закон відображення плинного значення рушійного моменту двигуна приводиться до виду:

$$M_p = b - \frac{M_m - M_n}{\omega_n - \omega_m} \omega. \quad (8)$$

Розглянемо умови перебігу першого етапу, особливості якого визначаються наявністю фрикційної муфти. Налаштування останньої на певний граничний момент сил тертя визначає обмеження, що стосуються незалежності в русі ведучої і веденої мас. У зв'язку з цим одержуємо два незалежних рівняння:

$$I_1 \ddot{\phi}_1 = b - \frac{M_m - M_n}{\omega_n - \omega_m} \dot{\phi}_1 - M_n; \quad (9)$$

$$I_2 \ddot{\phi}_2 = M_n - M_{on}. \quad (10)$$

Розв'язання і аналіз умови (9) приводить до наступного за перетворень:

$$\ddot{\phi}_1 + \frac{k \dot{\phi}_1}{I_1} = \frac{b - M_n}{I_1}. \quad (11)$$

Вид розв'язання диференціального рівняння (11) знайдемо, визначивши корені його характеристичного рівняння:

$$r^2 + \frac{k}{I_1} r = 0, \quad (12)$$

$$\text{де } k = \frac{M_m - M_n}{\omega_n - \omega_m} \text{ і } r \left( r + \frac{k}{I_1} \right) = 0. \text{ Звідси } r_1 = 0; \quad r_2 = -\frac{k}{I_1}.$$

За дійсних нерівних коренів  $r_1$  і  $r_2$  загальний вид розв'язання умови (11) має вид:

$$\phi_1 = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}; \quad (13)$$

при  $r_1 = 0$  маємо

$$\phi_1 = C_1 + C_2 e^{r_2 t}. \quad (14)$$

Сталі інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  визначимо з урахуванням початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad \phi_{1(n)} = 0; \quad \dot{\phi}_{1(n)} = \omega_{(n)}, \quad (15)$$

підстановка яких приводить до наступного:

$$C_1 + C_2 = 0.$$

Диференціюванням умови (14) одержуємо:

$$\dot{\varphi}_1 = C_2 r_2 e^{r_2 t}. \quad (16)$$

Тоді з урахуванням початкових умов (15) отримаємо:

$$\omega_{(n)} = C_2 r_2; \quad C_2 = \frac{\omega_{(n)}}{r_2}; \quad C_1 = -\frac{\omega_{(n)}}{r_2}$$

Або, підставивши значення  $r_2 = -k / I_1$ , одержуємо:

$$C_1 = \frac{\omega_{(n)} I_1}{k} \quad C_1 = -\frac{\omega_{(n)} I_1}{k} \quad (17)$$

і звідси

$$\varphi_1 = \frac{\omega_{(n)} I_1}{k} - \frac{\omega_{(n)} I_1}{k} e^{-(k/I_1)t}. \quad (18)$$

Тоді швидкість руху ведучої маси:

$$\dot{\varphi}_1 = \omega_{(n)} e^{-(k/I_1)t}. \quad (19)$$

Одержаний результат вказує на те, що від початку взаємодії з веденою масою на першому етапі ведуча маса знижує швидкість і при цій взаємодії частина кінетичної енергії передається веденій масі. При цьому кількість такої переданої енергії залежить від різниці початкової  $\omega_{(n)}$  кутової швидкості ведучої ланки і кінцевої швидкості  $\omega_{(k)}^I$ , що відповідає завершенню першого етапу. В цьому діапазоні трансформацій важливе значення має приведений момент інерції ведучої маси.

Кількість рекуперованої енергії при цьому визначається залежністю:

$$E_{\text{рек.}} = I_1 \frac{(\omega_{(n)} - \omega_{(k)}^I)^2}{2}. \quad (20)$$

Значення  $\omega_{(k)}^I$  відповідає кінцевому часу, визначення якого можливо здійснити на основі аналізу руху веденої маси. Поруч з цим необхідно визначити  $\omega_{(n)}$ . Очевидно, що на другому етапі і в період вистою значення швидкості  $\omega$  має тенденцію до зростання. При цьому до ротора двигуна, який має переважну частку в приведеному моменті інерції  $I_1$ , прикладається рушійний момент з боку статора, а опір переміщенню чинить приведений момент сил тертя, що діють на рухомі маси. За таких умов швидкість зростатиме в межах від плинної, якою може бути номінальна  $\omega_m$  у напрямку до синхронної швидкості  $\omega_0$  зі зростанням кінетичної енергії ведучої маси з моментом інерції  $I_1$ .

У пошуках  $\omega_{(k)}^I$  у першому наближенні можливо скористатися наведеною раніше апроксимацією залежності  $M_p = M_p(\omega)$  або здійснити додатковий пошук за апроксимаційними точками, що відповідають координатам значень  $M_n$  і  $\omega_n$  та  $M = 0$  і  $\omega_0$ .

Рух веденої маси на першому етапі моделюється умовою:

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 = M_m - M_{on}, \quad (21)$$

яка трансформується відповідним розв'язанням:

$$\ddot{\phi}_2 = \frac{M_M - M_{on}}{I_2}, \quad (22)$$

що за сталих значень правої частини вказує на рівномірно прискорене переміщення. Йому відповідає розв'язання за початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad \phi_2 = 0; \quad \dot{\phi}_2 = 0. \quad (23)$$

Тоді інтегруванням (22) одержуємо:

$$\dot{\phi}_2 = \frac{M_M - M_{on}}{I_2} t; \quad \phi_2 = \frac{M_M - M_{on}}{2I_2} t^2. \quad (24)$$

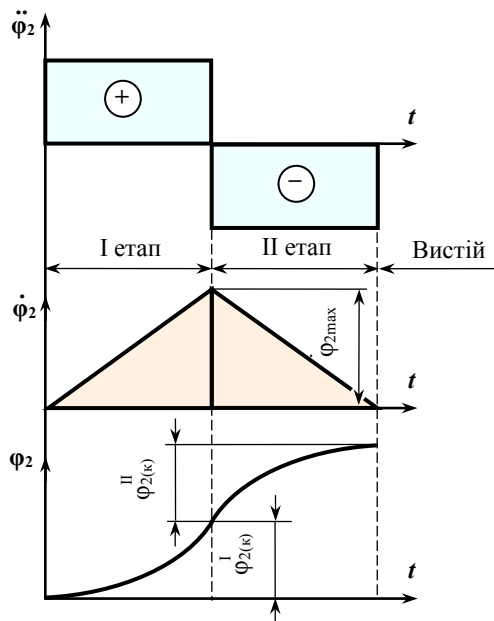


Рис. 3. Кінематичні діаграми переміщення  $I_2$  на I і II етапах

Графічне представлення кінематичних діаграм наведено на рис. 3. В режимі вибігу веденої маси доцільно використати потенціал кінетичної енергії, максимальне значення якого відповідає  $\phi_{2max}$ . За умови відключення від ведучої маси на момент часу  $t_{(k)}^I$  переміщення веденої відображується залежністю:

$$I_2 \ddot{\phi}_2^{II} = -M_{on}, \quad (25)$$

початкові умови якої мають вид:

$$t_{(n)}^{II} = 0; \quad \phi_{2(n)}^{II} = 0; \quad \dot{\phi}_{2(n)}^{II} = \phi_{2max}. \quad (26)$$

Звідси маємо:

$$\begin{aligned} \ddot{\phi}_2^{II} &= -\frac{M_{on}}{I_2}; \quad \dot{\phi}_2^{II} = \phi_{2max} - \frac{M_{on}}{I_2} t^{II}; \\ \phi_2^{II} &= \phi_{2max} t^{II} - \frac{M_{on}}{2I_2} (t^{II})^2. \end{aligned} \quad (27)$$

Кінцевому значенню  $\varphi_{2(k)}^{\text{II}}$  II етапу відповідає значення  $\dot{\varphi}_{2(k)} = 0$ . Тоді:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_{2(k)}^{\text{II}} = 0 &= \varphi_{2\text{max}} - \frac{M_{\text{on}}}{I_2} t_{(k)}^{\text{II}}; \\ t_{(k)}^{\text{II}} &= \varphi_{2\text{max}} \frac{I_2}{M_{\text{on}}}.\end{aligned}\quad (28)$$

Тоді кут повороту веденої маси за період другого етапу становить:

$$\varphi_{2(k)}^{\text{II}} = \dot{\varphi}_{2\text{max}}^{\text{II}} t_{(k)}^{\text{II}} - \frac{M_{\text{on}}}{2 I_2} \left( t_{(k)}^{\text{II}} \right)^2. \quad (29)$$

За відомого значення кута повороту веденої ланки  $\varphi_{2(\text{заг})}$  кінцеве переміщення на I етапі має становити:

$$\varphi_{2(k)}^{\text{I}} = \varphi_{2(\text{заг})} - \varphi_{2(k)}^{\text{II}}. \quad (30)$$

Звертаючись до умови (24) з урахуванням (30), запишемо:

$$\varphi_{2(k)}^{\text{I}} = \frac{M_{\text{м}} - M_{\text{on}}}{2 I_2} \left( t_{(k)}^{\text{I}} \right)^2 \quad (31)$$

і звідси:

$$t_{(k)}^{\text{I}} = \varphi_{2(k)}^{\text{I}} \frac{2 I_2}{M_{\text{м}} - M_{\text{on}}}. \quad (32)$$

Загалом, слід очікувати на досягнення умови  $t_{(k)}^{\text{I}} \neq t_{(k)}^{\text{II}}$ . Виконання умов (25)—(32) вказують на можливість повної рекуперації кінетичної енергії на рівні:

$$E_{\text{кін}}^{\text{II}} = I_2 \frac{(\dot{\varphi}_{2\text{max}})^2}{2}. \quad (33)$$

За час перебігу II етапу і вистою ведуча маса одержить швидкість  $\omega_{(n)}$ , що відповідає I етапу.

Отже, в умовах циклічних переміщень веденої маси доцільним є неперервний рух ведучої, наслідком чого є подвійна можливість рекуперації кінетичної енергії й обмеження енерговитрат на багаторазові перехідні процеси розгону веденої маси каруселі. При цьому має значення співвідношення моментів інерції ведучої і веденої мас, яке може бути покращене встановленням маховика до складу ведучої. Останнє забезпечить покращення показника нерівномірності ходу машини.

**Висновки.** 1. В машинах циклічної дії сама структура їх влаштування є причиною нерівномірності ходу та підвищених енергетичних витрат. Останні пов'язані з необхідністю багатократних перехідних процесів пуску і вибігу ведених мас.

2. Можливості режимів вибігу не завжди відповідають складовим у циклах роботи машин і тому вони доповнюються примусовими гальмуваннями, що додатково підвищують енерговитрати на рівнях дисипації.

3. Влаштування циклічної частини доцільно організовувати для веденої маси за неперервної дії ведучої за їх поділу керованою фрикційною муфтою. За таких умов досягається подвійний ефект, що складається з відсутності необхідності перехідного процесу руху ведучої маси і часткової передачі кінетичної енергії від ведучої маси до веденої на етапі розгону останньої.

4. Кінетична енергія веденої маси на II етапі після відключення ведучої забезпечує режим вибігу веденої, що відповідає явищу її рекуперативного використання.

5. Включення маховика до ділянки ведучої маси забезпечує обмеження нерівномірності її ходу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин / Кожевников С. Н. — М.: Машиностроение, 1993. — 591 с.
2. Попов С. А., Тимофеев Г. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Попов С. А., Тимофеев Г. А. — М.: Высшая школа, 1998. — 351 с.
3. Теория механизмов и машин: учебник для ВУЗов. 2-е изд. перераб. и доп. / Фролов К. В. и др. — М.: Высшая школа, 1998. — 500 с.
4. Кодра В. В., Стоцько З. А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання / Кодра В. В., Стоцько З. А. — Львів: Львівська політехніка, 2004. — 468 с.
5. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування / Соколенко А. І. та ін. — К.: Люксар, 2005. — 252 с.
6. Соколенко А. І., Васильківський К. В., Костюк В. С. Про можливості рекуперації кінетичної енергії в машинах і механізмах / Соколенко А. І., Васильківський К. В., Костюк В. С. // Харчова промисловість. — 2016. — № 19. — С. 92—99.
7. Соколенко А. І., Васильківський К. В., Степанець О. І. Рекуперація кінетичної енергії в технологічних машинах / Соколенко А. І., Васильківський К. В., Степанець О. І. // Харчова промисловість. — 2016. — № 20. — С. 138—145.
8. Соколенко А. І., Степанець О. І., Пригодій Д. В. Регулювання ходу машин / Соколенко А. І., Степанець О. І., Пригодій Д. В. // Харчова промисловість. — 2017. — № 21. — С. 155—163.
9. Пристрій для переміщення вантажів: патент на корисну модель 58946 Україна: МПК В65В 5/10 (2006.01) / Соколенко А. І. та ін.; власник НУХТ. № u201012737; заявл. 27.10.2010; опубл. 6.04.2011. — Бюл. № 8.
10. Динаміка і рекуперація вторинних енергетичних ресурсів у механічних системах / В. М. Криворотько, А. І. Соколенко, С. А. Бут та ін. // Наукові праці НУХТ. — 2014. — Т. 20, № 1. — С. 171—180.
11. Моделювання процесів пакування / А. І. Соколенко та ін. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.

## ДИНАМИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИВОДАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

**О. И. Степанец, В. С. Костюк, Д. В. Пригодий, Ю. А. Ступак**  
Национальный университет пищевых технологий

*Статья касается динамики переходных процессов и рекуперации кинетической энергии в режиме выбега в циклически действующем оборудовании с возможностью ограничения неравномерности хода машин.*

*Приведены математические формализации взаимосвязей между кинематическими, динамическими и энергетическими параметрами. Определены условия реализации режимов рекуперации с учетом соотношений работ сил полезного и вредного сопротивлений с уровнем кинетической энергии системы на начало режимов выбега.*

*Представлен математический аппарат разделения энергетических потенциалов в машинах с частичной остановкой движущихся масс в присутствии масс в режимах непрерывного движения.*

**Ключевые слова:** переходный процесс, динамика, рекуперація, кінетическа енергія, маховик, рівномірність ходу машин, корисне опору, шкідливе опору.

УДК 664

## DETERMINATION OF INFLUENCES OF PHYSICAL PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT ON THE LEVEL OF FATAL EFFECTS UNDER VACUUM CONDITIONS

**K. Vasylykivsky, A. Derenivska, I. Maksymenko, E. Skuybida***National University of Food Technologies***Key words:**

vacuuming,  
lethal effect,  
osmotic pressure,  
microorganisms,  
influence factor

**Article history:**

Received 10.03.2021

Received in revised form  
16.04.2021

Accepted 22.05.2021

**Corresponding author:**

mif63@i.ua

**ABSTRACT**

The article deals with the relationships between thermodynamic parameters of transients, time of their implementation, initial temperature, dry matter concentration, rate of pressure change in influences at the level of lethal effects of microflora present in treated media, concentration of dissolved gases, limitation of metabolic processes in cells and systems “cell–environment” due to osmotic pressures for the implementation of vacuum processes.

It is shown that from the point of view of interests to achieve lethal effects due to such physical methods as vacuuming, sharp pressure drop, adiabatic boiling of media, discrete-pulse influences, ultrasound, etc., it is essential to control at least such a parameter as osmotic pressure. Previous experiments to assess the combination of effects indicate that osmotic pressure in many cases should act as an independent and significant factor of influence.

It is shown that due to the increase in osmotic tics and the migration of water from the cell juice, the physical pressure in the cells decreases and the solubility of gases in the cell juice is limited. The result of these phenomena is a limitation of the level of lethal effects.

The second most important factor for achieving lethal effects is the initial temperature, which is a measure of the thermal potential of the transition process.

It is determined that in the conditions of adiabatic boiling of environments the level of lethal effects is about 10%. The best combination corresponds to the values of the factors of the initial temperature  $z_1$  — max, dry matter concentration  $z_2$  — min, exposure time in the vacuum chamber  $z_3$  — max. Such combinations of influencing factors provide lethal effects on yeast cells used as test cultures at the level of 100%. It is shown that the effect of the rate of pressure decrease during evacuation of media is insignificant, which can be explained by the decrease in the total time of vacuum treatment, and the fact that the increase in osmotic pressures in the media clearly leads to limitations of lethal effects.

It is determined that the effects similar to the evacuation of media at the level of lethal consequences occur with a sharp depressurization of gas-saturated media, which corresponds to the prospects of an applied nature for the processing of berry and vegetable raw materials.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-10



## ВПЛИВИ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩ НА РІВЕНЬ ЛЕТАЛЬНИХ ЕФЕКТІВ ПРИ ВАКУУМУВАННІ

К. В. Васильківський, канд. техн. наук

А. В. Деренівська, канд. техн. наук

І. Ф. Максименко

Є. Л. Скуйбіда

Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено взаємозв'язки між термодинамічними параметрами перехідних процесів, часом їх здійснення, початковою температурою, концентрацією сухих речовин, швидкістю зміни тисків у впливах на рівні летальних ефектів мікрофлори, присутніх в оброблюваних середовищах, концентрації розчинених газів, обмеження обмінних процесів у клітинах і системах «клітина–середовище» за рахунок осмотичних тисків при перебігу процесів вакуумування.*

*Показано, що з точки зору інтересів досягнення летальних ефектів за рахунок таких фізичних методів, як вакуумування, різке зниження тиску, адіабатне кипіння середовищ, дискретно-імпульсні впливи, ультразвук тощо принципово необхідно хоча б контролювати такий параметр, як осмотичний тиск. Попередні досліді за оцінкою комбінації впливів вказують на те, що осмотичний тиск у багатьох випадках повинен виступати як самостійний і значущий фактор впливу.*

**Ключові слова:** вакуумування, летальний ефект, осмотичний тиск, мікроорганізми, фактор впливу.

**Постановка проблеми.** Відомі закони ринкової економіки надають усе помітнішого прискорення особливо другій половині агропромислового комплексу — переробній промисловості. На вістрія проблем останньої виходять технології, пов'язані із забезпеченням довготривалого зберігання продукції. Їх розробка ґрунтується на глибинному аналізі явищ, що супроводжують зберігання продуктів харчування. Швидкоплинний стиль сучасного життя формулює нові вимоги до харчових продуктів, які повинні бути найбільш зручними й ефективними у використанні. Важливим відгалуженням цих технологій є зберігання фасованої продукції [1; 2].

Найбільш високоякісні продукти харчування з часом утрачають свої властивості внаслідок фізичних, хімічних і біологічних процесів, що постійно відбуваються в них. Для протидії таким змінам і стабілізації харчових та енергетичних показників продукції використовують пастеризацію, стерилізацію, висушування, заморожування, обробку в електромагнітних полях, витримку в модифікованих газових середовищах, умовах вакууму тощо. Останнім часом відбувається необґрунтоване різке зростання використання хімічних методів консервування продукції рослинного і тваринного походження, що має ознаки нової рукотворної екологічної катастрофи і потребує термінового втручання на рівні найвищих державних інституцій. Вживання продукції і напоїв з консервантами створює загрозу знешкодження власної мікрофлори організму людини з усіма його наслідками [3; 4].

З цієї точки зору екологічно чистими технологіями стабілізації продуктів харчування є теплова обробка на рівні пастеризації або стерилізації, вакуумні, паровакуумні технології, дискретно-імпульсні, ультразвукові технології, обробка ультрафіолетовим опроміненням тощо.

У багатьох випадках за рахунок фізичних методів обробки на харчових виробництвах відносно нескладно отримати продукцію на рівні пастеризованої або сте-

рилізованої на виході з технологічного обладнання. Однак дві наступні умови, зокрема асептична підготовка тари або пакувальних матеріалів і асептичне фасування у більшості випадків не досягається, що нівелює результат обробки первинного продукту. Однак практично стовідсотковий успіх лежить на шляху теплової обробки фасованої продукції, що знайшло свій розвиток за використання скляної і металевої тари [5]. Перехід до полімерних матеріалів супроводжується певними обмеженнями бар'єрних властивостей упаковок, тому узагальнений перелік процесів, що супроводжують зберігання таких упаковок, включає:

- біохімічні процеси всередині продукту;
- масообмін і взаємодію між продуктом і середовищем упаковки;
- масообмін між середовищем в упаковці і зовнішнім середовищем;
- взаємодію між продуктом і матеріалом упаковки;
- взаємодію зовнішнього середовища й матеріалу упаковки.

Вказані особливості потребують всебічного аналізу і супроводжують впровадження нових матеріалів, що змушує поєднувати зусилля розробників нових матеріалів, спеціалістів-харчовиків і споживачів продукції.

Особливі вимоги висуваються до стабілізації фасованої продукції дитячого харчування, де використання консервантів виключається і головні орієнтири стосуються вакуумних, паро-вакуумних технологій і технологій на основі теплової обробки [6]. Серед хімічних методів прийнятним є використання традиційних речовин — цукру та солі, — консервувальна дія яких відбувається не за рахунок хімічних властивостей, а через явище осмотичного тиску створюваних розчинів. У дослідженнях з оцінки фізичних впливів, як правило, не враховувалися співвідношення осмотичних тисків розчинів і осмотичних тисків клітинного соку клітин рослинного і тваринного походження та мікробних клітин. З точки зору інтересів досягнення летальних ефектів за рахунок таких фізичних методів, як вакуумування, різке зниження тиску, адіабатне кипіння середовищ, дискретно-імпульсні впливи, ультразвук тощо принципово необхідно хоча б контролювати такий параметр, як осмотичний тиск. Попередні досліді з оцінки комбінації впливів вказують на те, що осмотичний тиск у багатьох випадках повинен виступати як самостійний і значущий фактор впливу [7].

З точки зору інтересів промисловості вирішальне значення у виборі методів асептичної обробки як фасованої, так і не фасованої продукції має стовідсоткова гарантія бактеріостатичного, пастеризованого або стерилізованого стану. Останнім вимогам відповідає тільки два напрями: тепла обробка на рівні пастеризації або стерилізації та використання консервантів. Бактеріостатичні ефекти, як правило, пов'язані з підвищенням концентрації сухих речовин і відносним зростанням осмотичних тисків розчинів. Випуск концентрованих соків, сиропів, екстрактів тощо має зростаючі темпи, що диктуються сьогоденними потребами суспільства.

Обмеження, а за краще і повна відмова від консервантів мають за альтернативу використання теплових або інших фізичних методів обробки, які потребують поглиблення їх теоретичного підґрунтя. До таких перспективних методів на основі наведеного аналізу віднесемо:

- технологію різкої зміни тиску (ТРЗТ), що стосується газонасичених середовищ;
- вакуумування харчових середовищ або продуктів;
- адіабатне кипіння середовищ або рідинної фази продуктів;
- осмомолекулярну дифузію на фоні вакуумованих середовищ;

- комбінації з названих методів.

Розвиток вказаних напрямків стримується обмеженою теоретичною базою [8]. Оцінка можливостей впливів окремих параметрів, пошук їх оптимальних співвідношень, створення розвинених методик аналізу і синтезу на рівні промислового використання нових технологій дають змогу досягти нового рівня в розв'язанні проблеми екологічного харчування [9—11].

Створення нових технологій у галузі використання фізичних методів стабілізації якісних, енергетичних і смакових показників продукції — це шлях до екологізації продуктів харчування та напоїв і можливість суттєвого обмеження й відмови від використання хімічних консервантів. Методи теплової обробки потребують перегляду в напрямку рекуперації теплової енергії, що стосується і фасованої продукції.

**Мета дослідження:** визначення співвідношень фізичних, хімічних і термодинамічних параметрів середовищ в умовах перехідних процесів вакуумування у впливах на досягнення летальних ефектів у мікрофлорі.

**Матеріали і методи.** В експериментальних дослідженнях виконувалося вакуумування різних рідинних середовищ (води, пива, розчинів цукрів) з дріжджами в ролі тест-культури. Дослідження супроводжувалися використанням у складі лабораторної установки вакуум-насоса, що забезпечував залишковий тиск у вакуумній камері близько 0,002...0,004 МПа, що відповідає температурі кипіння середовищ в межах 20...30°C. Це дало змогу реалізувати процеси обробки середовищ у режимі адіабатного кипіння або без нього. Рівень летальних ефектів визначався за використання фарбування внутрішньоклітинних структур дріжджів у розчині метиленової сині. Постановка дослідження здійснювалася у формі чотирифакторного експерименту.

До числа запланованих було віднесено вакуумування рідинних середовищ (вода, пиво, сусло, розчини цукрів) з мікроорганізмами. При цьому була передбачена можливість здійснення вакуумування без кипіння середовища і в режимі адіабатного кипіння. При цьому температури середовищ в усіх випадках витримувалися з обмеженням максимального значення  $t \leq 38^\circ\text{C}$ , що виключало летальні ефекти за цим показником.

**Результати дослідження.** У публікації [8] показано наявність впливу різниці осмотичних тисків середовища і клітинного соку на динаміку зброджування цукру, а тому логічним є продовження досліджень з визначення дії осмотичних тисків середовищ на рівень летальних ефектів за різних фізичних впливів.

Як відомо, витримка дріжджів у воді супроводжується підвищенням у клітинах фізичного тиску. Передавання дріжджів в осмотично активний розчин приводить до зменшення фізичного тиску, що повинно мати відповідне відображення за вакуумування.

Організація дослідів без кипіння і з кипінням середовищ здійснювалася за рахунок різних початкових температур середовищ. Вакуум-насос у складі лабораторної установки забезпечував залишковий тиск у вакуумній камері на рівні 0,002—0,004 МПа, що відповідає діапазону температур кипіння середовищ  $\sim 20...30^\circ\text{C}$ . Тому за початкових температур середовищ  $t(p) \leq 15^\circ\text{C}$  кипіння не мало місця, а перехід до початкових температур середовищ  $20 < t(p) \leq 38^\circ\text{C}$  забезпечував режим адіабатного кипіння.

Узагальнені результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати оцінювання летальних ефектів вакуумування

Середовище	Початкова температура середовища, °C	Залишковий тиск у вакуумній камері, МПа	Рівень летальних ефектів, %	Початкова температура середовища, °C	Залишковий тиск у вакуумній камері, МПа	Рівень летальних ефектів, %
	без адіабатного кипіння			з адіабатним кипінням		
Вода+дріжджі	15	0,002	75	38	0,002	90
10% розчин цукру у воді+дріжджі	15	0,002	50	38	0,002	70
15% розчин цукру у воді+дріжджі	15	0,002	30	38	0,002	60

З табл. 1 видно, що збільшення осмотичного тиску розчину послаблює рівень летальних ефектів від вакуумування, яке в цій групі дослідів продовжувалося протягом 10 хв. Разом з тим суттєвий вплив на досягнення летальних ефектів має організація адіабатного кипіння середовищ.

Дослідження показали, що на рівень летальних ефектів впливають такі показники, як час витримки середовища у вакуумній камері та динаміка зміни тиску у вакуумній камері від максимального до мінімального значень. Узагальнені дані цієї серії досліджень наведені в табл. 2. Стабілізована на рівні 8°C початкова температура середовищ забезпечувала відсутність адіабатного кипіння. Разом з тим з табл. 2 видно відчутний вплив швидкості зменшення тиску від початку вакуумування до його завершення на рівень летальних ефектів.

Наведені в табл. 2 і 3 узагальнені результати досліджень надають можливість оцінки у виборі параметрів впливу. При цьому не виключена наявність взаємних впливів факторів і перехід до комплексної оцінки доцільно шукати на шляху багатфакторного експерименту.

Таблиця 2. Дані оцінювання впливів часу вакуумування і динаміки зміни тиску на рівень летальних ефектів

Середовище	Початкова температура середовища, °C	Час зниження тиску, с	Час витримки у вакуумній камері, с	Рівень летальних ефектів
Вода+дріжджі	8	90	60	20
Вода+дріжджі	8	90	120	30
Вода+дріжджі	8	90	1200	100
Вода+дріжджі	8	15	10	95
Вода+дріжджі	8	15	30	100
Вода+дріжджі	8	15	60	100

Перелік і значення факторів нижнього та верхнього рівнів наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Фактори нижнього і верхнього рівнів

Параметр	Одиниця вимірювання	Код	Рівні			Інтервал варіювання
			нижній	нульовий	верхній	
Початкова температура середовища $t$	°C	$z_1$	8	23	38	15
Концентрація СР	%	$z_2$	0	7,5	15	7,5
Час витримки у вакуумній камері, $\tau$	с	$z_3$	10	605	1200	595
Швидкість зміни тиску у вакуумній камері, $dP/dt$	МПа/с	$z_4$	0,0001	0,0003	0,0005	0,0002

Дослідження планується як повний факторний експеримент за чотирьох факторів і йому відповідає постановка 16 дослідів.

Матрицю планування, що їм відповідає, представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Матриця планування

№ п/п	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_1 z_2$	$z_1 z_3$	$z_1 z_4$	$z_2 z_3$	$z_2 z_4$	$z_3 z_4$	$z_1 z_2 z_3$	$z_1 z_3 z_4$	$z_2 z_3 z_4$	$z_1 z_2 z_4$	$z_1 z_2 z_3 z_4$	$z_0$	Рівень леталь- ного ефекту, %
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	50
2	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	60
3	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	40
4	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	50
5	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	95
6	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	100
7	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	60
8	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	65
9	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	30
10	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	50
11	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	40
12	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	60
13	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	95
14	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	100
15	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	45
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	97

Сучасний стан теорії багатфакторного експерименту надає можливість у кількісній формі показати вплив факторів на вихідну величину, якою є рівень летальних ефектів. У зв'язку з проведенням дворівневого експерименту кожен фактор набуває два значення (верхнє і нижнє). Набори верхніх і нижніх значень факторів створюють область експерименту. Завершується експеримент побудовою поліноміальної моделі.

Дослідження виконувались на камерній вакуумпакувальній машині Easy PACK фірми WEBOMATIC (Німеччина), а результати визначення рівнів летальних ефектів представлено у табл. 4.

Математична обробка результатів експериментальних досліджень представлена у вигляді рівняння:

$$\begin{aligned} \bar{y} = & 64,812 + 7,937z_1 - 7,687z_2 + 17,312z_3 - 0,187z_4 + 2,9375z_1z_2 + \\ & + 2,3125z_1z_3 + 4,1875z_1z_4 - 7,6875z_2z_3 + 3,5625z_2z_4 + 2,3125z_3z_4 + \\ & + 2,9375z_1z_2z_3 + 1,6875z_1z_3z_4 - 1,4375z_2z_3z_4 + 2,9375z_1z_2z_4 + \\ & + 2,937z_1z_2z_3z_4. \end{aligned}$$

Опрацювання даних дослідження базується на методах математичної статистики, використання яких можливе за припущення, що отримані результати мають нормальне розподілення.

З рівняння видно, що найбільший ефект у напрямку досягнення летальних ефектів має фактор  $z_3$  — час витримки біологічної системи у вакуумній камері після

досягнення кінцевого тиску. На те, що час витримки у вакуумній камері є найбільш ефективним фактором, вказує кореляційний коефіцієнт при  $z_3$  дорівнює +17,312. Фізична суть впливу цього фактора пояснюється комплексом причин, до яких слід віднести зміну в швидкостях масообмінних процесів, особливо по  $\text{CO}_2$ . Насправді, відповідно до закону Генрі за тиску, що наближається до нуля, тоді як всередині клітини фізичний тиск підтримується на рівні, що відповідає осмотичному тиску клітинного соку, видалення  $\text{CO}_2$  через цитоплазматичну і клітинну оболонки сповільнюється аж до повного припинення. Такі умови мають привести, як мінімум, до бактеріостатичних і, врешті, до летальних ефектів.

У зв'язку з викладеним слід зробити висновок про те, що зниження осмотичного і фізичного тиску клітинного соку має привести до зниження летальних ефектів за інших рівних умов. Досягти зниження вказаних тисків клітинного соку можливо за рахунок збільшення осмотичного тиску розчину. З табл. 4 видно, що подвійний ефект впливу осмотичного тиску розчину цукру (фактор  $z_2$ ) значною мірою нівелює вказаний ефект з порушення швидкості масообмінних процесів.

Це підкреслюється тим, що у всіх дослідях, у яких концентрація цукру є максимальною, летальні ефекти суттєво знижуються, чому також відповідає кореляційний коефіцієнт при  $z_2$ , рівний -7,687.

Тільки у тих дослідях, де має сполучення максимального фактора  $z_3$  і мінімального  $z_2$  летальні ефекти наближаються до 100%.

Оцінка по впливу фактора  $z_2$  приводить до висновку, що підвищення осмотичного тиску середовища, в якому знаходяться мікроорганізми, створює бар'єр на шляху досягнення летальних ефектів. Прийнята у дослідях концентрація цукру 15% відповідає осмотичному тиску 1,0685 МПа.

Водночас слід звернути увагу на те, що у бродильних виробництвах вказана концентрація цукру у більшості випадків є граничною. Відомі також рекомендації підтримувати концентрацію цукрів маючи на гранично нижньому рівні у виробництві хлібопекарських дріжджів. За порушення цієї умови швидкість масообмінних процесів і приросту біомаси зменшуються.

Другим за інтенсивністю фактором впливу у напрямку досягнення летальних ефектів у дослідях визначено початкову температуру середовища (фактор  $z_1$ ). Кореляційний коефіцієнт цього фактора становить величину +7,937. Звернемось до пар дослідів, які відрізняються лише верхнім і нижнім рівнями фактора  $z_1$  (досліди 1—2; 3—4; 5—6...). В умовах, коли має місце адіабатне кипіння при вакуумуванні, припущення рівня летальних ефектів складає близько 10%.

Виходячи з принципу суперпозиції, слід очікувати найбільших рівнів летальних ефектів за найкращого сполучення рівнів факторів  $z_1$ ,  $z_2$  та  $z_3$ , оскільки четвертий незалежний фактор має найменший і відносно малий кореляційний коефіцієнт — 0,187. Такому найкращому сполученню відповідають значення факторів  $z_1$  — max;  $z_2$  — min;  $z_3$  — max. Таке сполучення реалізується у дослідях № 6 і № 14 і йому відповідають летальні ефекти на рівні 100%.

Вплив швидкості зниження тиску за вакуумування у цих дослідях виявився незначним. Усупереч сподіванням зростання швидкості зниження тиску приводить до зменшення функції відгуку, хоча зменшення майже не відчутне. Проте в загальній оцінці ситуації і цьому результату можливо знайти пояснення. Очевидно, що зростанню швидкості зниження тиску відповідає загальне зниження часу вакуумної обробки.

Одержані результати сукупності впливів вказаних факторів надають можливість прогнозу й окреслення сфер використання одержаної наукової інформації.

Вакуумне пакування харчової продукції здійснюється за відповідних стандартів параметрів і в загальних випадках такий чинник, як осмотичний тиск розчину, є стабілізованим. До числа керованих параметрів при цьому відносяться температура, рівень залишкового тиску вакуумування і час витримки вакуумованого середовища.

Одержана в дослідях інформація дає підстави пояснити нестабільність результатів летальних ефектів за вакуумного оброблення, наприклад, питної води [5]. Залишковий тиск вакуумування і витримка в часі стабілізованої таким чином системи повинні бути цілком певними. Разом з тим не слід нехтувати можливістю організувати адіабатне кипіння оброблюваного середовища.

У проведених дослідях час адіабатного кипіння залежав від початкового енергетичного потенціалу середовища, мірою якого була температура. Подібні умови мають місце і при вакуумному пакуванні продукції.

Однозначно підвищенню рівня асептичного стану продукції відповідає підвищення початкової температури. Однак і цей показник по кожному виду продукції певним чином регламентується.

Щодо вакуумної асептичної обробки води існує умовне обмеження, пов'язане з енергетичними витратами для забезпечення заданої початкової температури.

Частка впливу від адіабатного кипіння порівняно з рівнем вакуумування і часом витримки може бути збільшена за рахунок зовнішнього підведення теплоти до оброблюваного середовища і продовження таким чином часу кипіння.

Використання вакуумної обробки для досягнення асептичного стану продукції певним чином обмежене заданою продуктивністю обладнання для пакування продукції, однак в умовах технологічної обробки ці обмеження знімаються.

Адіабатне кипіння у поєднанні з вакуумуванням відносяться до суто фізичних чинників, які з повним правом можна вважати екологічно чистими технологіями.

Саме на цій основі слід шукати шлях до мікробіологічної чистоти питної води як загального, так і спеціального забезпечення. Іншими точками прикладання вакуумних технологій з елементами адіабатного кипіння є виробництво напоїв, соків, компотів, хоча при цьому слід пам'ятати про дестабілізуючу в асептуванні роль осмотичних тисків.

Результати експериментальних досліджень однозначно вказують на зменшення рівня летальних ефектів зі збільшенням осмотичних тисків середовищ. При цьому має місце підсилення ефектів за переходу середовища до режиму адіабатного кипіння, яке є наслідком його вакуумування. Пояснення цих факторів потребує розробки відповідної гіпотези.

Фарбування внутрішніх структур дріжджових клітин у розчині метиленової сині вказує на те, що має місце руйнування цитоплазматичних і клітинних оболонок. Воно могло відбутися за двох груп чинників, до яких віднесемо зовнішні і внутрішні впливи. До зовнішніх належать тиск, температура, кавітаційні явища в режимах адіабатного кипіння і навіть геометрія об'єму, в якому розташовано середовище. Останнє пов'язано з тим, що залишковий тиск у вакуумній камері і висота стовпчика середовища можуть бути співрозмірними, і в результаті дестабілізується адіабатне кипіння в повному об'ємі.

Адіабатне кипіння має активні прояви щодо різних складових розчинів, однак стосовно клітин мікроорганізмів термодинамічні параметри середовища не досягаються. Пов'язано це з тим, що фізичний тиск клітинного соку, рівний різниці його

осмотичного тиску і осмотичного тиску середовища, може набагато перевищувати фізичний тиск у вакуумній камері. Останнє приводить до висновку, що в таких умовах утворення парової фази розчинника в середині клітини неможливе.

Однак з наближенням осмотичних тисків середовища і клітинного соку очікується зниження фізичного тиску в клітинах. Отже, можемо констатувати, що зі зменшенням осмотичного тиску середовища (аж до нуля для дистильованої води), можливості утворення парової фази знижуються, а за якогось граничного значення  $\pi_2$  утворення парової фази стає неможливим.

Проте серед діючих факторів залишаються розчинені в клітинному соку газу. Рідинне середовище насичене розчиненими газами, до яких слід віднести азот і діоксид вуглецю. Рівень насиченості при цьому відповідає закону Генрі.

Азот як інертний газ потрапляє в середовище з повітря, тому його вміст у розчиннику є цілком визначеним. Вміст кисню може бути різним у зв'язку з тим, аеробним чи анаеробним є процес. Стосовно діоксиду вуглецю однозначно можна стверджувати про його наявність у клітинному соку і рідинному середовищі. При цьому обов'язковим є перебільшення концентрації  $\text{CO}_2$  у соку над концентрацією його в рідинному середовищі, оскільки дріжджі є джерелом синтезу діоксиду вуглецю. Вказана різниця концентрацій є рушійною силою, а кількість розчиненого  $\text{CO}_2$  в стані рівноваги відповідає певним тиску і температурі.

Активне зниження тиску у вакуумній камері знижує фізичний тиск у мікробіологічній клітині, завдяки чому порушується стан рівноваги і це повинно привести до швидкого виділення газової фази, активізації масообміну по  $\text{CO}_2$  та додаткового підвищення внутрішнього тиску у клітинах. Останнє за певних умов може привести до самостабілізації клітини на новому рівні тиску, але наслідок може бути і летальним, якщо утворення газової фази було швидким і активним. З цієї точки зору має значення не тільки загальний час вакуумування, а й швидкість зниження тиску у вакуумній камері. Проте останнє нівелюється швидкістю виділення  $\text{CO}_2$  з клітинного соку.

Підвищення концентрації сухих речовин у середовищі, по-перше, знижує загальну розчинність газів. Це також стосується і клітинного соку. І, по-друге, підвищення осмотичного тиску середовища зменшує кількість води у клітинному соку. Отже, зростання осмотичного тиску середовища по впливу (і у тому числі летального) повинно обмежувати дію розчинених газів.

Летальні впливи розчинених газів згідно із запропонованою гіпотезою знаходяться в чіткому кореляційному зв'язку з вмістом сухих речовин у середовищі. Збільшення осмотичного тиску останнього однозначно приводить до зниження рівня летальних ефектів.

Такі внутрішні чинники, як утворення парової фази і виділення розчинених газів, можуть виникати паралельно або перший може бути відсутнім. Тому за відносно малих осмотичних тисків середовищ, що супроводжуються збільшеним фізичним тиском у мікробних клітинах, переважає вплив розчинених газів.

На додаткову перевірку останнього положення було проведено дослідження, пов'язане з організацією бродіння пивного суслу в герметично закритій упаковці. У результаті було досягнуто тиск  $\text{CO}_2$  1,2 МПа і за температури  $5^\circ\text{C}$  здійснено розгерметизацію. При цьому за зниження тиску до атмосферного протягом 3—5 с летальні ефекти складали 100%. Подовження часу розгерметизації до 30 с супровод-



жувалося рівнем летальних ефектів 95—98%. Подальше сповільнення динаміки зниження тиску відчутно знижувало летальні впливи і за часу розгерметизації 5 хв вони були відсутні.

Важливе значення у таких дослідженнях має температура середовища, оскільки з її зростанням суттєво знижується розчинність газів. Так, наприклад, стала насичення по  $\text{CO}_2$  для води при переході від 5 до  $30^\circ\text{C}$  знижується приблизно вдвічі. Це означає суттєве зростання енергетичного потенціалу середовища і можливість досягнення більш високих рівнів летальних ефектів.

Підвищення температури середовища, як відмічалось, перед вакуумуванням також дає змогу реалізувати накопичений енергетичний потенціал в умовах адіабатного кипіння.

Отже, за рахунок розчинення газів (найзручніше  $\text{CO}_2$ ) суттєво розширюється діапазон зміни тисків і фізичних явищ, що їх супроводжують.

**Висновки.** Завершуючи оцінку комплексного впливу факторів  $z_2$  і  $z_3$ , зробимо такі висновки:

1. Вакуумування біологічного середовища за рахунок зниження сталих насичення газами рідинної фази створює обмеження в масообміні між мікробіологічними клітинами і середовищем.

2. Рівень обмежень процесів масообміну і стану мікробних клітин залежить від осмотичного тиску розчину.

3. Обмеження обмінних процесів в клітинах і в системі «клітина–середовище» за рахунок осмотичного тиску останнього приводить до зростання захисних функцій і бактеріостатичних ефектів. За рахунок зростання осмотичного тиску розчину і міграції води з клітинного соку фізичний тиск у клітинах зменшується і зменшується розчинність газів у соку. Результатом цього є обмеження рівня летальних ефектів.

4. Другим за інтенсивністю впливу фактором є  $z_1$  — початкова температура середовища.

5. Найкращому сполученню факторів відповідають  $z_1$  — max,  $z_2$  — min та  $z_3$  — max, якому відповідають 100% летальних ефектів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Локалізовані енергетичні впливи на вологовмісткі середовища харчових виробництв / Шевченко О. Ю. та ін. // Харчова промисловість. — 2012. — № 2. — С. 18—22.
2. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Фенікс, 2012. — 484 с.
3. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / Полумбрик М. О. — Київ: Академперіодика, 2001. — 487 с.
4. Фізико-хімічні методи обробки сировини і стабілізація харчових продуктів / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Люксар, 2009. — 454 с.
5. Фізико-хімічні методи обробки сировини і харчової продукції / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Кондор, 2015. — 324 с.
6. Сторожук В. М., Мельничук О. Е. Енергоощадні технології у виробництві фруктових консервів / Сторожук В. М., Мельничук О. Е. // Наукові праці УДУХТ. — 2001. — № 10. — С. 116—117.
7. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / Соколенко А. І., Мазаракі А. А., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Сукманові В. О. Під ред. Соколенко А. І. та ін. — Київ: Фенікс, 2011. — 536 с.
8. Інтенсифікація енерго- масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв / Соколенко А. І. та ін. — Київ: Кондор, 2018. — 212 с.

9. Безпалько С. А. Дослідження дисипативного нагрівання в замкненому контурі теплогенератора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.06. Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут». — Київ, 2008. — 20 с.

10. Енергетичні імпульси в харчових технологіях / Соколенко А. І. та ін. // Наукові праці НУХТ. — 2012. — № 47. — С. 73—78.

11. Піддубний В. А. Інтенсифікація масообміну в умовах перехідних процесів Піддубний В. А. — Київ: Люксар, 2006. — 348 с.

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕД НА УРОВЕНЬ ЛЕТАЛЬНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ**

**К. В. Васильковский, А. В. Дереновская, И. Ф. Максименко, Е. Л. Скуйбида**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*Статья касается взаимосвязей между термодинамическими параметрами переходных процессов, временем их осуществления, начальной температурой, концентрацией сухих веществ, скоростью изменения давления во влиянии на уровне летальных эффектов микрофлоры, присутствующих в обрабатываемых средах, концентрации растворенных газов, ограничения обменных процессов в клетках и системах «клетка–среда» за счет осмотических давлений при течении процессов вакуумирования.*

*Показано, что за счет увеличения осмотических давлений и миграции воды из клеточного сока физическое давление в клетках уменьшается и растворимость газов в клеточном соке ограничивается. Результатом этого есть ограничение уровня летальных эффектов.*

**Ключевые слова:** вакуумирование, летальный эффект, осмотическое давление, микроорганизмы, фактор влияния.

УДК 664.026.2:532.55

## DETERMINATION OF ENERGY LOSSES AT THE ENTRANCE TO THE MEAT PRODUCTS STORE

**S. Beseda, I. Litovchenko, O. Litovchenko***National University of Food Technologies*

---

**Key words:**transport,  
pipeline,  
pressure,  
energy,  
losses

---

**Article history:**

Received 04.06.2021

Received in revised form  
10.08.2021

Accepted 21.09.2021

---

**Corresponding author:**

beseda@nuft.edu.ua

---

**ABSTRACT**

An important role in reducing the loss of raw materials during transportation, intensification and automation of production processes in slaughterhouses is played by the method of pneumatic transportation of animal slaughter products. This method has great advantages over transportation in carts, on gutters and descents, increasing the level of mechanization by 1.5–2 times. Livestock products are fed into a pre-tank with the addition of water to facilitate the transportation process. However, such addition of water causes additional energy consumption during boiling of raw materials and its drying. Therefore, the task is to determine the required air pressure to transport the product without adding water.

The purpose of the study is to determine the effect of the design of different options for the introduction of the transport pipe into the neck of the vacuum boiler on the energy loss when passing through them a mobile meat non-food product.

The object of the study is a pipeline that connects to the collecting tank and which is part of the pneumatic piping system.

Research methodology — computer simulation. The task of modeling was to determine the value of the resistance of the product, the value of which affects the required power of the air blower, which blows the product into the collection.

Varieties of constructions make it possible not only to determine their resistance to the movement of the product to select the optimal option for interaction, but also to obtain a comparative characteristic of local resistances depending on the angle of connection.

Computer simulation of the physical processes that occur during the injection of the product into the receiving neck of the storage tank, allows to obtain numerical data on the loss of kinetic energy and pressure by changing the flow path. During the simulation, a rational form of introducing the pipe into the neck of the collecting tank is determined. Tangential connection of the pipe to the neck is more energy efficient than perpendicular insertion.

The obtained results are recommended to be used during the design of vehicles that work due to the displacement of the product by high air pressure.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-11

---

## ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ВХОДІ В НАКОПИЧУВАЧІ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

С. Д. Беседа, канд. техн. наук

І. М. Литовченко, канд. техн. наук

О. І. Литовченко

Національний університет харчових технологій

*Метою проведеного дослідження є визначення впливу конструкції різних варіантів введення транспортної труби в горловину вакуумного котла на втрати енергії при проходженні через них рухомого м'ясного нехарчового продукту. Об'єктом дослідження виступає трубопровід, який приєднується до збірної ємкості і є частиною пневматичної трубопровідної системи. Методика досліджень — комп'ютерне імітаційне моделювання. В ході моделювання визначена раціональна форма введення труби в горловину збірної ємкості. Отримані результати рекомендується використовувати в ході проектування транспортних засобів, які працюють за рахунок витіснення продукту підвищеним тиском повітря.*

**Ключові слова:** транспорт, трубопровід, тиск, енергія, втрати.

**Постановка проблеми.** Вагому роль у скороченні втрат сировини при транспортуванні, інтенсифікації й автоматизації виробничих процесів у цехах забою худоби відіграє спосіб пневмотранспортування продуктів забою тварин. Такий спосіб має великі переваги перед транспортуванням у візках, по жолобам і спускам, збільшуючи рівень механізації у 1,5—2 рази.

Основні конструктивні частини пневмотранспортних ліній — передувні баки, транспортні трубопроводи та приймальні пристрої. Пневматичні передувні баки слугують для введення продукту в трубопровід і забезпечення потрібного тиску повітря, необхідного для переміщення продукту по трубопроводу. Приймальним пристроєм може слугувати, наприклад, приймальний бункер або вакуум-горизонтальний котел у лінії виробництва сухих тваринних кормів.

Продукти перероблення худоби подають у передувний бак з додаванням води для полегшення процесу транспортування. Однак таке додавання води викликає додаткові витрати енергії при розварюванні сировини та її підсушуванні, тому завдання полягає у визначенні потрібного тиску повітря для транспортування продукту без додавання води.

Що стосується пневмотранспортування, тиск повітря у передувному бакові складається з таких величин [1]:

$$P = P_{\text{вх}} + P_{\text{дов}} + \sum P_{\text{м}} + P_{\text{вих}} + P_h, \quad (1)$$

де  $P_{\text{вх}}$  — втрати тиску при вході в трубопровід, Па;  $P_{\text{дов}}$  — втрати тиску по довжині трубопроводу, Па;  $\sum P_{\text{м}}$  — сума втрат тиску в місцевих опорах (поворотах), Па;  $P_{\text{вих}}$  — втрати тиску на виході з трубопроводу в приймальний пристрій, Па;  $P_h$  — втрати тиску при підніманні продукту на висоту  $h$ , Па.

У зв'язку з тим, що наукові дані для розрахунку систем пневмогідротранспортування не систематизовані і не опубліковані в науковій літературі, розрахунок окремих складових втрат тиску пов'язаний з великими труднощами.

Об'єктом дослідження є горизонтальний вакуумний котел КВМ-4,6А, що випускається серійно і призначений для варіння, стерилізації та зневоднення нехарчової білкової сировини, отриманої в процесі переробки тварин, птиці та м'яса на підприємствах м'ясопереробної промисловості.

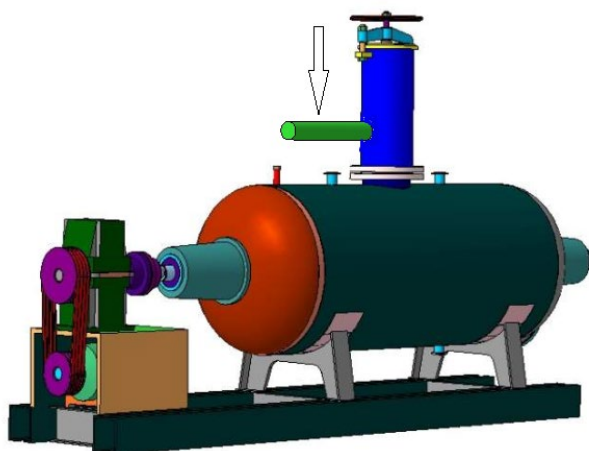


Рис. 1. Зовнішній вигляд котла KBM-4,6A



**Мета дослідження:** визначення впливу конструкції різних варіантів введення труби пневмотранспорту (показана стрілкою на рис. 1) в горловину котла, на втрати енергії при проходженні через них рухомого продукту.

**Матеріали та методи.** Пропоноване дослідження продовжує серію публікацій на означену тематику [2...5], а також розвиває подібні дослідження, проведені за кордоном [6...8].


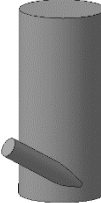
У табл. 1 наведені варіанти входу труби в горловину, які відрізняються будовою. Контрольний варіант — труба входить перпендикулярно до осі циліндру по центру, інші три варіанти — введення труби тангенційно з різними кутами нахилу осі труби до осі циліндру (табл. 1).

Завданням моделювання було визначення величини протидії руху продукту, величина якого впливає на необхідну потужність нагнітача повітря, який продуває продукт у збірник.

Таблиця 1. Варіанти входу труби в горловину

Кут нахилу трубопроводу, град.	Варіант досліді
1	2
0 (контрольний)	
0	

Продовження таблиці 1

1	2
15	
30	

Різновиди конструкцій надають можливість не тільки визначити їх опір руху продукту для вибору оптимального варіанту взаємодії, але й отримати порівняльну характеристику місцевих опорів залежно від кута з'єднання.

Геометричні та реологічні умови дослідження такі:

- діаметр горловини — 430 мм;
- діаметр підвідної труби — 150 мм;
- густина продукту — 1050 кг/м<sup>3</sup>;
- в'язкість продукту — 0,01 Па, с;
- тиск повітря в системі трубопроводів — 400000 Па.

Як засіб дослідження використане комп'ютерне імітаційне моделювання. Програмний САЕ комплекс FlowVision використовує метод кінцевих елементів для прогнозування руху в'язких рідин в умовах перепаду тиску повітря на вході та виході з геометричної моделі.

Використання програмного комплексу добре себе зарекомендувало в ході дослідження будови та роботи обладнання харчової промисловості [9—12].

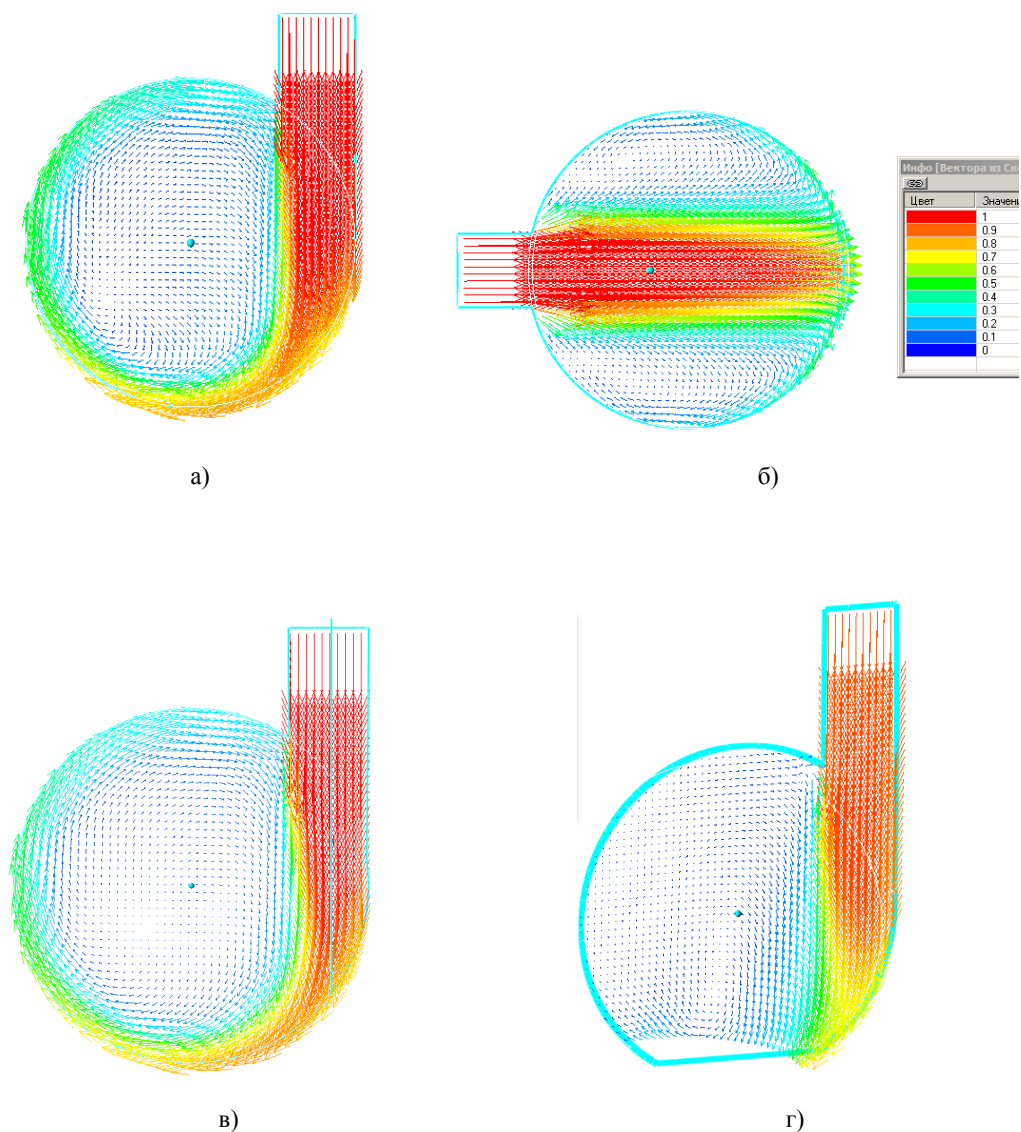
Граничні умови «стілки» з заданою шорсткістю визначають шляхові та місцеві втрати тиску.

Новизна використаної методики комп'ютерного моделювання полягає у визначенні значень тиску протидії на виході з трубопроводу та дисипації кінетичної енергії продукту, що рухається. В ході дослідження використовувався метод візуалізації — «ізолінії», який дає змогу чітко визначити межі градації значень. При підрахунку площ, які займає той чи інший діапазон значень ізоліній дисипації енергії, з'являється можливість порівняти інтенсивність втрат енергії, якщо віднести їх до загальної площі розгалуження.

Якщо оцінювати площі, які обмежені ізолініями певної інтенсивності дії фактора, можна отримати інтегральну характеристику дії динамічних параметрів.

Значні області, які обмежені великими значеннями дисипації, показують зародження завихрень, які є основним джерелом втрат транспортуючого тиску.

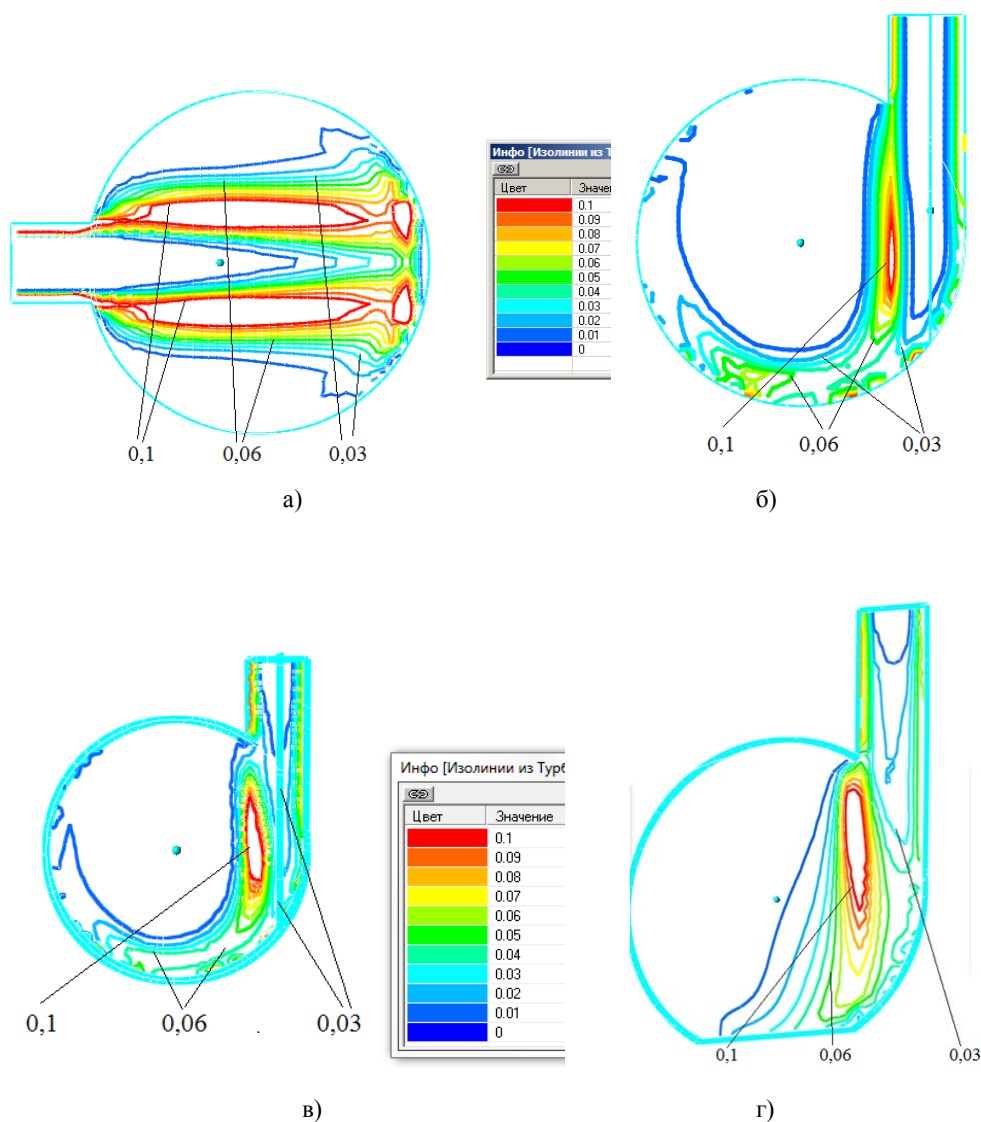
**Результати дослідження.** На рис. 2 наведені результати моделювання швидкостей руху продукту, виражених у вигляді векторів.



**Рис. 2. Вектори швидкостей у поперечному перерізі горловини:**  
а) — контроль; б) —  $0^\circ$ ; в) —  $15^\circ$ ; г) —  $30^\circ$

Аналізуючи зображення, можна зробити висновок про наявність впливу кута входу труби на зменшення швидкості: зі збільшенням кута швидкість пропорційно зменшується. Це позитивно впливає на тиск протидії на виході з трубопроводу.

На рис. 3 наведені результати моделювання втрат кінетичної енергії на внутрішні тертя в масі, що транспортується. Зображення отримані у вигляді ізоліній у поперечному перерізі горловини (паралельно осі труби).



**Рис. 3. Ізолінії дисипації кінетичної енергії в поперечному перерізі горловини:**

а) — контроль; б) — 0°; в) — 15°; г) — 30°

Аналізуючи зображення, слід зазначити, що найбільші завихрення відбуваються в продукті, який рухається в контрольному зразку. Відповідно, для їх утворення потрібні витрати тиску нагнітання. У випадку тангенційного вводу витрати на внутрішнє тертя пропорційне куту нахилу труби. В чисельному виразі цей процес показаний на рис. 4.



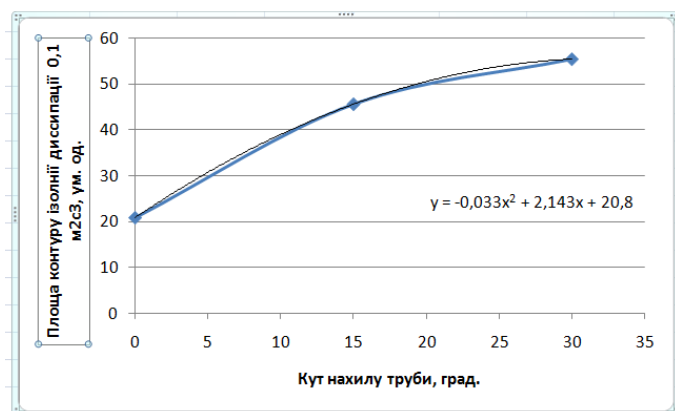


Рис. 4. Витрати тиску стисненого повітря на внутрішні тертя в масі, що рухається

На рис. 5 наведені результати моделювання змін тиску, що створює продукт, який з труби входить у горловину. Зображення отримані у вигляді ізоліній у поперечному перерізі горловини (паралельно осі труби).

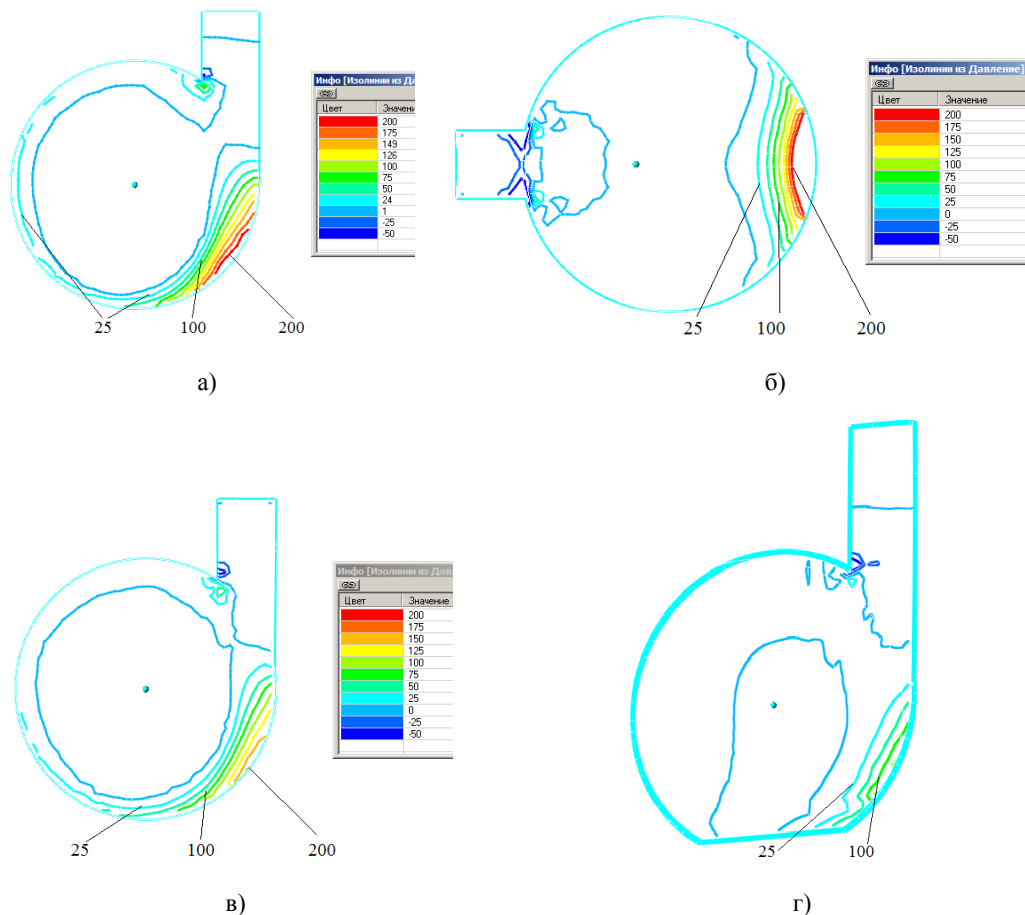


Рис. 5. Ізолінії тиску набігаючого потоку в поперечному перерізі горловини:

а) — контроль; б) — 0°; в) — 15°; г) — 30°

Аналізуючи зображення, слід зазначити, що найбільші втрати тиску відбуваються в продукті, який рухається в контрольному зразку. Відповідно, для їх утворення потрібні витрати тиску протидії на виході з трубопроводу. У випадку тангенційного вводу витрати на протитиск зворотно пропорційні куту нахилу труби. В чисельному виразі цей процес відображений на рис. 6.

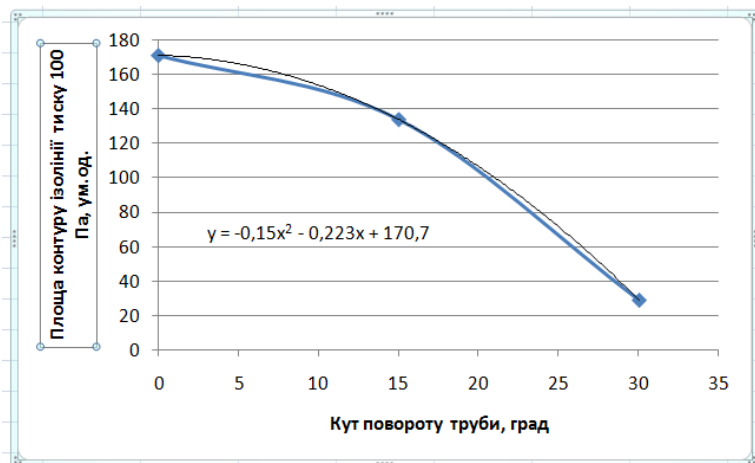
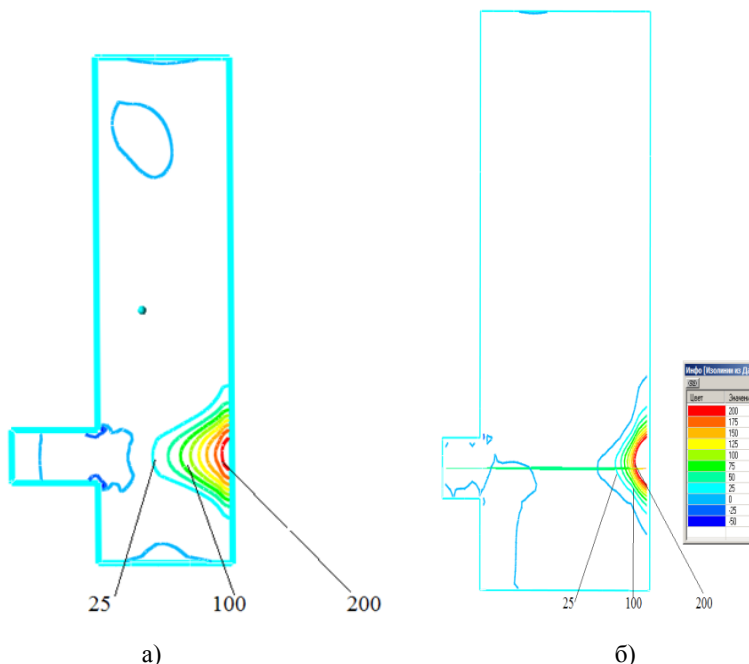


Рис. 6. Витрати тиску протидії на виході з трубопроводу

Проконтролювати процес втрат тиску можна на рис. 7, на якому процес відображено у вертикальному перерізі.



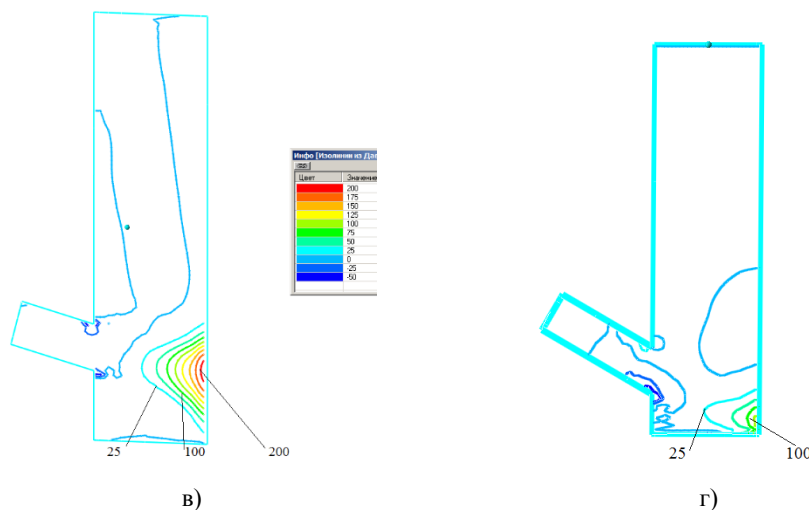


Рис. 7. Ізолінії тиску набігаючого потоку в поздовжньому перерізі горловини:

а) — контроль; б) — 0°; в) — 15°; г) — 30°

Аналізуючи зображення, можна відмітити, що у випадку тангенційного вводу витрати на протитиск корелюють з даними тиску в поперечному перерізі та зворотно пропорційні куту нахилу труби. Основні втрати тиску відбуваються на початку повороту потоку вздовж стінки горловини. Градієнт тиску в цих випадках менший, ніж у контрольному досліді.

У чисельному виразі цей процес відображений на рис. 8.

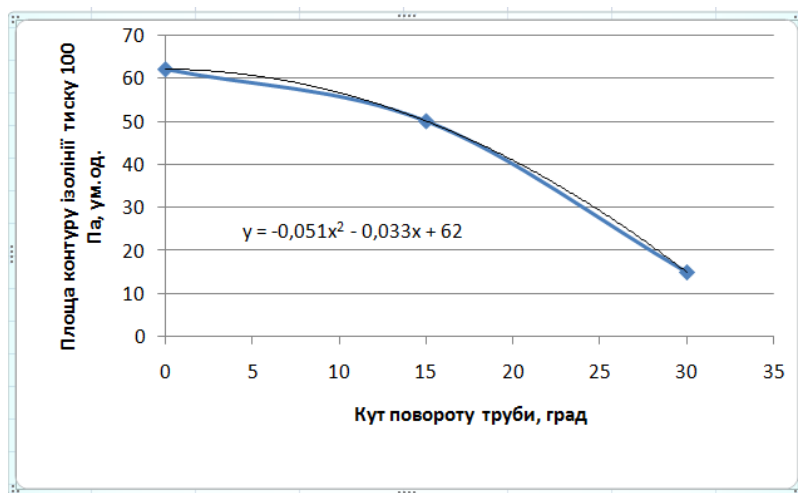


Рис. 8. Втрати тиску при рухові потоку вздовж стінки горловини

Математична обробка кожної кривої з рис. 4, 6, 8 дає найкращий опис поведінки графіків при використанні поліномів другого ступеня.

**Висновки.** Комп'ютерне імітаційне моделювання фізичних процесів, що відбуваються під час впорскування продукту в приймальну горловину накопичувальної ємкості, дає змогу отримати чисельні дані про втрати кінетичної енергії й тиску за рахунок зміни траєкторії потоку.

Тангенційне під'єднання труби до горловини енергетично вигідніше, ніж перпендикулярне введення. Втрати енергії й тиску зворотно пропорційні куту нахилу труби до осі горловини. Процес описується поліномами другої ступені.

Залежність розподілу швидкостей від кута введення труби:

$$y = -0,033x^2 + 2,143x + 20,8.$$

Залежність розподілу тиску протитоку на виході з трубопроводу в поперечному перерізі горловини від кута введення труби:

$$y = -0,15x^2 - 0,223x + 170,7.$$

Залежність розподілу тиску протитоку на виході з трубопроводу в прокольному перерізі горловини від кута введення труби:

$$y = -0,051x^2 - 0,033x + 62.$$

Отримані рівняння дають змогу визначити втрати в проміжку між точками проведення моделювання. Розроблену методику досліджень рекомендується використовувати в ході проектування транспортних засобів, які працюють за рахунок витіснення продукту підвищеним тиском.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Технологические трубопроводы мясокомбинатов / А. В. Горбатов, Я. И. Виноградов, В. Д. Косой, А. А. Горбатов. — М.: Агропромиздат, 1989. — 304 с.
2. Беседа, С. Д. Визначення раціональних конструктивних та експлуатаційних характеристик обладнання для транспортування нехарчової м'ясної сировини / С. Д. Беседа, Є. В. Штефан, В. М. Таран // Мясное дело. — 2006. — № 11. — С. 66—68.
3. Беседа, С. Д. Моделювання параметрів руху м'ясної сировини в системах пневматичного транспорту / С. Д. Беседа, І. М. Литовченко // Наукові праці національного університету харчових технологій. — 2012. — № 47. — С. 50—54.
4. Litovchenko, I. Computer modelling of movement of meat raw material on pipelines / Litovchenko I., Taran V., Beseda S., Hadjiiski W. M., Stefanov S. V.; The 7th International Conference «Integrated systems for agri-food production», Nyiregyhaza, Hungary. — (2011). — P. 211—214.
5. Беседа, С. Д. Енергетичні показники процесу передувки м'ясної сировини / С. Д. Беседа, І. М. Литовченко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. — Том 22, № 5. — С. 120—125.
6. Longdell, G. R. Advanced technologies in the meat industry / G.R. Longdell // Meat Science. — 1994. — 36(1—2). — P. 277—291.
7. Steven, M. Lonergan Packaging for meat and meat products / Steven M. Lonergan, David G. Topel, Dennis N. Marple // The Science of Animal Growth and Meat Technology (Second Edition). — 2019. — Chapter 15. — P. 255—269.
8. James, S. J., MEAT MARKETING / James S. J., James C. // Transport of Meat and Meat Products, Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition). — 2014. — P. 236—243.
9. Luchian, M.I. Numerical simulation of energy dissipation in mixing process of bread dough / Luchian M. I., Litovchenko I., Stefanov S., Csatos C. // Journal of EcoAgriTourism. — 2012. — 25. — P. 67—70.
10. Stefanov S. Use of computer modeling for modernization of final proofers of preparation of dough, / Stefanov S., Hadjiiski W., Litovchenko I.; 12th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2012, 13—17 September. — 2012, Vrnjacka Banja, Serbia. — P. 791—796.
11. Litovchenko I. Investigation work proofers by computer simulation / Litovchenko I., Stefanov S., Hadzhiyski V. // Ukrainian Food Journal. — 2015. — 4(2). — P. 119—126.
12. Litovchenko I. The study of the baking ovens by computer simulation / Litovchenko I. // Food technology. — 2013. — XVII. — Pp. 107—115.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА ВХОДЕ В НАКОПИТЕЛЬ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

С.Д. Беседа, И. Н. Литовченко, А. И. Литовченко

*Национальный университет пищевых технологий*

*Целью проведенного исследования является определение влияния конструкции различных вариантов введения транспортной трубы в горловину вакуумного котла на потери энергии при прохождении через них подвижного мясного непищевых продукта. Объектом исследования выступает трубопровод, который присоединяется к сборной емкости и который является частью пневматической трубопроводной системы. Методика исследований — компьютерное имитационное моделирование. В ходе моделирования определена рациональная форма ввода трубы в горловину сборной емкости. Полученные результаты рекомендуется использовать в ходе проектирования транспортных средств, работающих за счет вытеснения продукта повышенным давлением воздуха.*

**Ключевые слова:** транспорт, трубопровод, давление, энергия, потери.

УДК 628.35, 628.38

# METHANE FERMENTATION OF CONCENTRATED WASTEWATER OF SUGAR PLANTS

**N. Bublenco***National University of Food Technologies***Key words:**

sugar beet plants,  
wastewater,  
methanogenesis,  
periodic regime,  
biotransformation,  
biogas

**Article history:**

Received 12.04.2021

Received in revised form  
12.05.2021

Accepted 15.05.2021

**Corresponding author:**

3110nb@gmail.com

**ABSTRACT**

Category III industrial wastewater, which is the most concentrated at the sugar plant, contains complex organic and mineral pollutants, is dangerous for the environment.

Purpose of work is to study the processes of methane fermentation using partially inactivated anaerobic sludge. Main tasks: to analyze the state of solving the problem of industrial wastewater treatment of sugar factories, to investigate the possibility of using for fermentation of effluents in the periodic mode of conventional and partially inactivated anaerobic sludge, to determine the treatment efficiency and energy potential of these effluents at different sludge concentrations.

The experiments were performed in a laboratory installation (methane tank with a volume of 4 dm<sup>3</sup> and gasholder with a volume of 4 dm<sup>3</sup>) with a volume of 4 dm<sup>3</sup>. The content of methane and carbon dioxide in the biogas was determined by an accelerated method: passing biogas through a 10% solution of sodium hydroxide. Standard methods were used to determine fermentation parameters (COD, concentration of activated sludge, etc.). The initial value of COD of wastewater fed into the methane tank was 4,500 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, pH 7,2. The concentration of activated sludge in the control (activated sludge from the active methane tank) and experiment (partially inactivated sludge) was 10 g/dm<sup>3</sup>. To study the possibility of achieving the level of activity of sludge from the active methane tank, in the second series of experiments, the concentration of inactivated sludge was doubled and was 20 g/dm<sup>3</sup>.

The pH of the culture fluid was in the range of 7,4—7,6. This indicates the absence of fermentation of the environment, which would be an indicator of disruption of biotransformation processes. When using inactivated sludge (concentration 10 g/dm<sup>3</sup>), the cleaning efficiency decreased by 9,6% compared to the control, and at a concentration of 20 g/dm<sup>3</sup> — only by 3,04%. The amount of biogas also decreased significantly at a sludge concentration of 10 g/dm<sup>3</sup> (by 32,14%), and by 10,7% at an increased sludge concentration.

Further fermentation on adapted anaerobic activated sludge still has some lag, but gradually the characteristics of the process reach the required level, which is characteristic of conventional anaerobic activated sludge. Therefore, it is advisable to use anaerobic activated sludge, which has not been used for several months due to the seasonal nature of sugar factories, provided the use of high concentrations of sludge.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-12

## МЕТАНОВА ФЕРМЕНТАЦІЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ СТИЧНИХ ВОД ЦУКРОЗАВОДІВ

Н. О. Бублієнко, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

*Небезпечними для навколишнього середовища є виробничі стічні води III категорії, які є найконцентрованішими на цукрозаводі, містять складні органічні та мінеральні забруднювальні компоненти. Мета статті — дослідження процесів метанової ферментації при використанні частково інактивованого анаеробного мулу. Досліди проводили на лабораторній установці (метантенк об'ємом 4 дм<sup>3</sup> і газгольдер об'ємом 6 дм<sup>3</sup>). Вміст метану і вуглекислого газу в біогазі визначали прискореним методом: пропусканням біогазу через 10-відсотковий розчин гідроксиду натрію. Для визначення показників бродіння (ХСК, концентрація активного мулу тощо) використані стандартні методики.*

**Ключові слова:** бурякоцукрові заводи, стічні води, метаногенез, періодичний режим, біотрансформація, біогаз.

**Постановка проблеми.** Значне водоспоживання і незадовільний стан вирішення проблеми очищення стічних вод більшості підприємств харчової і переробної галузей актуалізує питання раціонального водокористування, що вкрай важливо при розробленні способів очищення стоків таких водомістких підприємств, як бурякоцукрові заводи, які водночас характеризуються високою концентрацією поллютантів [1].

Для виробництва однієї тонни цукру витрачають понад 200 м<sup>3</sup> води. Для заводу добовою потужністю 6 000 т буряка потрібно не менше 125 тис. м<sup>3</sup> води різної якості на добу. Відповідно, утворюється значна кількість стічних вод, які різняться за фізичними властивостями, хімічним складом і ступенем забруднення. Через це їх поділяють на три категорії.

Води I категорії — це барометрична вода конденсаторів випарної установки, вакуум-апаратів, конденсат відпрацьованої пари турбін, аміачна вода, вода від нагрівання утфелю, вода від охолодження обладнання. Використовують ці води у системах оборотного водоспоживання.

Води II категорії (транспортно-мийні) утворюються при транспортуванні та митті буряків. Характеризуються значним вмістом завислих частинок. Після механічного очищення їх використовують на цукрозаводах повторно.

Виробничі стічні води III категорії містять розведений транспортно-мийний осад, кислу жомову воду, воду від прання фільтрувальних тканин і мішків, промивання обладнання, стоки з лабораторії тощо, а також каналізаційні стоки заводу і селища. Вони є найконцентрованішими на підприємстві і містять значну кількість розчинених компонентів, а також завислих часточок як мінерального (грунт, пісок), так і органічного (буряковий бій, часточки жому) походження.

На цукрових заводах із вдосконаленням водним господарством кількість стоків III категорії досягає 170% від маси перероблюваного буряка, хоча є підприємства, де цей показник знижено до 85% [2].

Усереднені значення фізико-хімічних показників виробничих стоків наведені у табл. 1 [1].

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники стічних вод цукрозаводу III категорії

Температура, °C	18,7
Завислі часточки, мг/дм <sup>3</sup>	21 320
pH середовища	7,5
БСК <sub>повн.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	5 387
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	7 542
Загальний азот, мг/дм <sup>3</sup>	64
Азот органічних сполук, мг/дм <sup>3</sup>	55
Аміак і солі амонію, мг/дм <sup>3</sup>	10,9
Сірководень, мг/дм <sup>3</sup>	3,6
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	67,8
Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	5,7
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	84
Сапонін, мг/дм <sup>3</sup>	8,3

У стоках виявлені молочнокислі, маслянокислі та інші бактерії різних видів, аспергиллові гриби тощо. Зазвичай, такі стічні води скидають на поля фільтрації, де протягом 8—12 місяців відбувається біологічне очищення в природних умовах.

Такий спосіб, не забезпечуючи необхідного ступеня очищення, є відносно ефективним лише у весняно-літній період, залежить від місцевих гідрогеологічних і кліматичних умов. При цьому із сільськогосподарського обігу вилучають значні площі землі. Також такий спосіб спричиняє забруднення ґрунтів і ґрунтових вод, веде до заболочування великих ділянок, порушення екологічного балансу, є джерелом виділення парникових газів, речовин із неприємним запахом. Усе це ускладнює і без того несприятливу екологічну ситуацію навколо цукрових заводів [3].

Останнім часом в Україні активно розвиваються альтернативні екологічно безпечні та економічно вигідні біотехнології для очищення стічних вод та утилізації відходів, зокрема цукрових заводів, з використанням метанової ферментації. Основою цього процесу є метанове бродіння, яке відбувається під впливом анаеробного активного мулу, що складається із біоценозу метаногенних бактерій. Останні, споживаючи політантів стічних вод і значно знижуючи їх концентрацію, генерують біогаз із досить високим вмістом метану. Вміст метану в біогазі залежить від виду і концентрації забруднень стоків, умов проведення процесу тощо. Для остаточного вилучення забруднювальних компонентів зі стоків застосовують біологічне доочищення під впливом аеробного активного мулу, до складу якого, крім бактерій, входять найпростіші, гриби, коловертки тощо.

Аналіз вітчизняного і зарубіжного наукового доробку в цьому напрямку свідчить про ефективність і доцільність використання анаеробних біотехнологій для очищення стоків цукрозаводів. У працях [4—6] наведені переваги використання метанового бродіння для очищення концентрованих стічних вод і деяких відходів цукрозаводів (перш за все жому) у мезофільних або термофільних умовах. Ефективними є метантенки періодичної дії або сучасні біореактори типу UASB [4; 6]. При цьому досягається видалення органічної речовини зі стоків на понад 70%. Найвагомішим аргументом у застосуванні саме таких технологій є значна енергетична цінність біогазу завдяки високій концентрації метану в ньому, яка за даними дослідників становить 60—65%, а в деяких випадках досягає 78—79% [7; 8]. Більшість авторів доводять, що найефективнішим використанням біогазу, як альтернативного джерела енергії, є отримання електроенергії у когенераційних установках [9; 10].

В Україні активно впроваджують такі біотехнології, темпи будівництва біогазових установок і комплексів за останній рік ще пришвидшились. Адже, якщо на III квартал 2019 р. в країні було 45 біогазових установок, загальною потужністю



70 МВт, то на кінець 2020 р. вже налічується 51 біогазова станція, загальною потужністю 96,7 МВт [11].

До найбільших виробників біогазу увійшли кілька цукрозаводів: «Геофіпольська енергетична компанія» — на базі Теофіпольського цукрового заводу, потужністю 15,6 МВт; «Біоенергетичний комплекс в Глобино» («Астарта») — на базі Глобинського цукрового заводу і Глобинського переробного заводу, потужністю 12 МВт; «Корсунь Еко Енерго» — на базі Селищанського цукрового заводу, потужністю 7,5 МВт тощо [12].

Цукрове виробництво має сезонний характер, тривалістю 3—4 місяці. Саме в цей період утворюються виробничі стічні води III категорії й, відповідно, працюють очисні споруди. Після чого настає перерва в їх роботі до нового сезону. Активний мул, зазвичай, залишають у метантенках із шаром надосадкової рідини. При цьому не відбувається загибелі мікроорганізмів активного мулу, які є досить стійкими до тривалих перерв у живленні стічною рідиною. Але, звісно, їх активність на початок наступного сезону цукроваріння знижується.

**Мета статті:** дослідження процесів метанової ферментації при використанні частково інактивованого анаеробного мулу.

**Матеріали і методи.** Метанове бродіння виробничих стоків III категорії цукрозаводу відбувалось у лабораторній установці — метантенк, об'ємом 4 дм<sup>3</sup>, і водяний газгольдер-накопичувач біогазу. Для забезпечення термофільного режиму бродіння (50°C) метантенк розмістили в термостаті.

Об'єм біогазу реєстрували за об'ємом води, витісненої біогазом із газгольдера у приймальну ємність. Концентрацію метану і діоксиду карбону в біогазі визначали прискореним методом: пропусканням біогазу крізь 10-відсотковий розчин гідроксиду натрію.

Показник хімічного споживання кисню (ХСК) визначали прискореним методом за стандартною методикою [13; 14].

Величину рН визначали за допомогою портативного рН-метра лабораторного рН-305.

**Результати дослідження.** На кафедрі екологічної безпеки та охорони праці Національного університету харчових технологій здійснюються дослідження метанової ферментації відходів та концентрованих стічних вод харчової і переробної галузей, у тому числі цукрових заводів.

Виробничі стоки III категорії зброджували у метантенку об'ємом 4 дм<sup>3</sup>. Для порівняння ефективності очищення та інтенсивності газоутворення використовували два види активного мулу. Це мул із діючого реактора з Юзефо-Миколаївського біогазового комплексу та активний мул, який зберігали протягом 7 місяців без джерел живлення (надосадкова рідина — очищені стічні води) у холодильнику, в герметично закритій ємності.

Усі дослідження з цими видами мулу здійснювали в періодичному режимі паралельно в ідентичних умовах. Температура процесу відповідала початковим показникам термофільного режиму метанового бродіння — 50°C. Це є економічно доцільним, водночас забезпечуючи необхідний перебіг біоферментації.

Хід процесу контролювали за температурою, показником рН, хімічним споживанням кисню (ХСК), кількістю біогазу, вмістом у ньому метану, ефективністю очищення. Вихід біогазу (в дм<sup>3</sup>) перераховували на кількість забруднень за ХСК, завантажених у метантенк (дм<sup>3</sup>/г ХСК<sub>завант.</sub>) та на різницю кількості забруднень за ХСК початковим і кінцевим (дм<sup>3</sup>/г ХСК<sub>збрдж.</sub>).

Початкова величина ХСК стічних вод, які зброджувались, становила 4 500 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, рН 7,2. Концентрація активного мулу в контролі (активний мул із

діючого метантенка) та досліді (частково інактивований мул) становила 10 г/дм<sup>3</sup>. Також для досягнення рівня активності мулу із діючого метантенка в другій серії дослідів концентрація інактивованого мулу була підвищена вдвічі.

Показник рН культуральної рідини становив 7,4—7,6, що свідчило про нормальний перебіг процесу, без закисання середовища.

Результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники процесу метанового бродіння стоків III категорії цукрозаводу

Показник	Вид анаеробного активного мулу та його концентрація, г/дм <sup>3</sup>		
	з діючого біореактора		частково інактивованій
	10	10	20
ХСК <sub>кінц.</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	500	880	620
Ефективність очищення, %	88,9	80,4	86,2
рН	7,6	7,3	7,5
Вихід біогазу: дм <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	2,8	1,9	2,5
дм <sup>3</sup> /г ХСК <sub>завант.</sub>	0,62	0,42	0,55
дм <sup>3</sup> /г ХСК <sub>збродж.</sub>	0,70	0,52	0,64
Вміст метану в біогазі, %	72	60	68

Отже, ефективність очищення при використанні інактивованого мулу в концентрації 10 г/дм<sup>3</sup> знизилась на 9,6%, порівняно з контролем, а при концентрації 20 г/дм<sup>3</sup> — вже лише на 3,04%. Вихід біогазу також характеризується суттєвим зниженням при концентрації мулу 10 г/дм<sup>3</sup> (на 32,14%), і на 10,7% при підвищеній концентрації мулу. Також збільшення концентрації активного мулу зменшує тривалість бродіння, хоча чіткої кореляції між ними не спостерігається.

Динаміка виходу біогазу та зниження показників ХСК стоків зображена на рис. 1—3.

На графіку контрольного досліді (рис. 1) прослідковується класична залежність між утилізацією забруднень стоків і виділенням біогазу, тоді як з інактивованим мулом (рис. 2—3), цей взаємозв'язок не має чіткої вираженості.

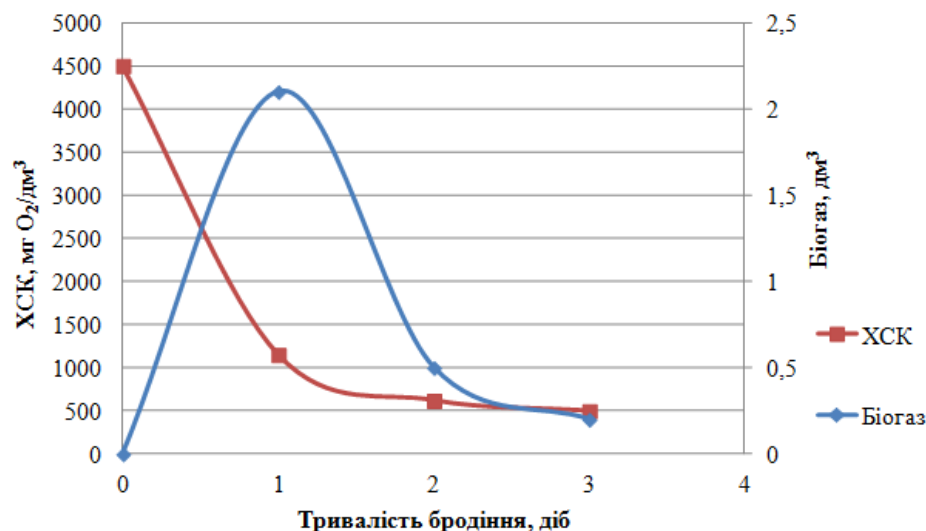


Рис. 1. Динаміка ХСК та газогенерації при використанні анаеробного активного мулу

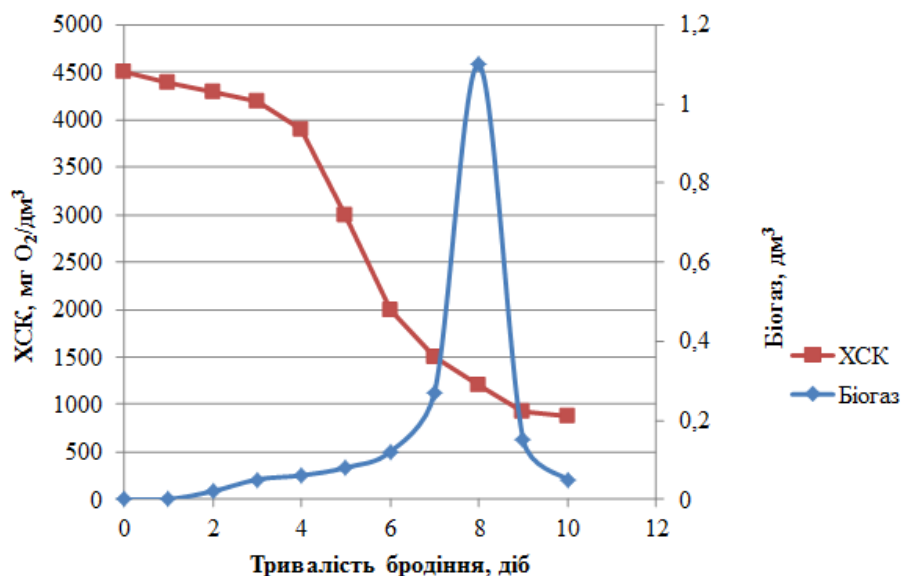


Рис. 2. Динаміка ХСК та газогенерації при використанні частково інактивованого активного мулу концентрацією  $10 \text{ г/дм}^3$

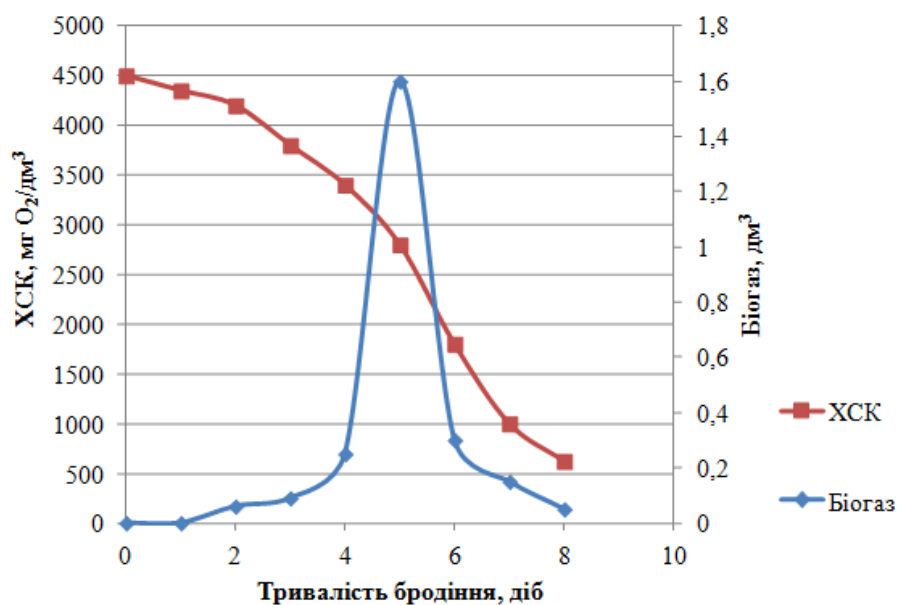


Рис. 3. Динаміка ХСК і газогенерації при використанні частково інактивованого активного мулу концентрацією  $20 \text{ г/дм}^3$

На початкових стадіях бродіння інактивованому активному мулу потрібен час для адаптації, розмноження асоціації мікроорганізмів і відновлення ферментативної активності, тому в цей час газогенерація виражена досить слабо. І вже після того, як культура досягла необхідного ступеня адаптації, починається активний синтезу біогазу.

Для адаптації та відновлення властивостей культури при концентрації мулу  $10 \text{ г/дм}^3$  потрібно близько 5 діб. При подвоєній концентрації активного мулу — 3 доби. Максимум виділення біогазу спостерігається на 8 добу в першому випадку, а в останньому — на п'яту. При цьому в контролі максимальна кількість біогазу виділяється протягом вже першої доби.

Тобто при використанні інактивованого мулу процеси відновлення культури переважають над газогенерацією до тих пір, поки не встановиться рівновага.

**Висновки.** Отже, метанова ферментація виробничих стічних вод III категорії цукрових заводів забезпечує високу ефективність очищення (до 89%) та супроводжується утворенням значної кількості біогазу (до  $2,8 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$ ) з високим вмістом метану (72%). При сезонній роботі підприємства реальним є використання анаеробного активного мулу, який протягом 7—9 місяців був вилучений із процесу очищення.

Запуск метантенку за допомогою частково інактивованого активного мулу може бути використаний на практиці, причому для стабілізації його роботи необхідно порівняно небагато часу. Для зменшення тривалості періоду адаптації, прискорення біотрансформації і виведення анаеробної системи в робочий режим необхідне початкове збільшення концентрації активного мулу з  $10$  до  $20 \text{ г/дм}^3$ , хоча лінійної залежності між ними не спостерігається. Подальше бродіння на вже адаптованому активному мулі супроводжується частковим відставанням, але поступово характеристики процесу досягають рівня, характерного для звичайного анаеробного активного мулу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Поштаренко А. В. Вплив харчової промисловості на екологічну безпеку природних вод // Проблеми екологічної біотехнології. — 2015. — № 2. — С. 118—127.
2. Сорокін А. І. Складові стічних вод бурякоцукрового виробництва, заходи щодо зменшення їх кількості та витрат свіжої води / А. І. Сорокін, К. Д. Скорик, М. Д. Хоменко // Цукор України. — 2015. — № 11 — 12 (119 — 120). — С. 21—24.
3. Müller J. Sequential biofiltration — a novel approach for enhanced biological removal of trace organic chemicals from wastewater treatment plant effluent / J. Müller, J. Drewes, U. Hübner // Water research. — 2017. — Vol. 127. — P. 127—138.
4. Alkaya Em. Anaerobic mesophilic co-digestion of sugar-beet processing wastewater and beet-pulp in batch reactors / Em. Alkaya, G. N. Demirel // Renewable Energy. — 2011. — Vol. 36, Is. 3. — P. 971—975.
5. Kwaku E. Biogas production from sugarcane bagasse with South African industrial wastewater and novel kinetic study using response surface methodology Scientific African / E. Kwaku, M. Chettya, N. Deenadayalub // Scientific African. — 2020. — Vol. 10. — P. 556—568.
6. Effect of Temperature on Increasing Biogas Production from Sugar Industrial Wastewater Treatment by UASB Process in Pilot Scale / L. Artsupho, P. Jutakradsada, A. Laungphairojana [et al.] // Energy Procedia. — 2016. — Vol. 100. — P. 30—33.
7. Pessoa M. The use of biomagnetism for biogas production from sugar beet pulp / M. Pessoa, M. A. Motta Sobrinho, M. Kraumea // Biochemical Engineering Journal. — 2020. — Vol. 164. — P. 107—117.
8. Effect of silage maize plant density and plant parts on biogas production and composition / P. Fuksa, J. Hakla, P. Michal [et al.] // Biomass and Bioenergy. — 2020. — Vol. 142. — P. 105—112.
9. Henning H. Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation / H. Henning, B. Krautkremer, K. Hartmann // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2014. — Vol. 29. — P. 383—393.
10. Hengeveld E. J. Biogas infrastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids / E. J. Hengeveld, J. Bekkering, W. J. T. van Gemert // Biomass and Bioenergy. — 2016. — Vol. 86. — P. 43—52.

11. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Новини. — URL: <http://saee.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення 23.11.2020).

12. Agravery: аграрне інформаційне агентство. Топ-6 виробників біогазу в Україні. — URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/nazvano-top-6-virobnikiv-biogazu-v-ukraini> (дата звернення 25.11.2020).

13. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. — Санкт-Петербург: Крисмас, 2010. — 248 с.

14. Семенова О. І., Бублиенко Н. О. Природоохоронні технології та обладнання: лабораторний практикум. — К.: НУХТ, 2019. — 55 с.

## МЕТАНОВАЯ ФЕРМЕНТАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД САХАРОЗАВОДОВ

**Н. А. Бублиенко**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Опасными для окружающей среды являются производственные сточные воды III категории, которые наиболее концентрированные на сахарозаводе и содержат сложные органические и минеральные загрязняющие компоненты.*

*Цель работы — исследование процессов метановой ферментации при использовании частично инаktivированного анаэробного ила.*

*Опыты проводили в лабораторной установке (метантенк объемом 4 дм<sup>3</sup> и газгольдер объемом 6 дм<sup>3</sup>). Содержание метана и углекислого газа в биогазе определяли ускоренным методом: пропусканием биогаза через 10-процентный раствор гидроксида натрия. Для определения показателей брожения (ХПК, концентрация активного ила и др.) использованы стандартные методики.*

**Ключевые слова:** *свеклосахарные заводы, сточные воды, метаногенез, периодический режим, биотрансформация, биогаз.*

УДК 621.79.03

# ANALYSIS OF THE PROCESS OF THERMAL CONTACT WELDING OF PLASTIC FILMS CONTAMINATED WITH FINE BULK MATERIALS

**O. Havva***National University of Food Technologies***Yu. Sholovii, N. Maherus***Lviv Polytechnic National University***Key words:**

thermal contact welding,  
plastic film,  
fine bulk material,  
polymer packaging

**Article history:**

Received 02.04.2021

Received in revised form  
20.04.2021

Accepted 10.05.2021

**Corresponding author:**

gavvaoleksandr@  
gmail.com

**ABSTRACT**

Fine bulk materials (FBM) with particle sizes less than 50 micrometers can be contaminated with dust during recycling process. This dust settles on the walls of the future packaging in the process of packing, which complicates the process of sealing by thermal contact welding. It is established that a layer of FBM with a thickness of 0.003 to 0.01 mm is deposited on the contact surfaces of welding during the process of package forming. This fact reduces the strength of the weld by 15—20% and increases the welding time.

The aim was analysis of the thermal contact welding of plastic films contaminated with FBM. The object of research is thermal contact welding of plastic films with one-sided heating, which is widely used in industry. Heat transfer during non-stationary thermal conductivity was investigated as a function of temperature field and heat flux in time and space. The determination of temperature fields was based on the schematization of thermal processes. The process of heat transfer in an unlimited heat-conducting body was described by according to Fourier's law. It was considered in the study of one-way heating that the material thickness is much smaller than the width and length of the seam and it was assumed that the heat flow from the heater is directed in one direction.

The result was the equation of thermal conductivity relative to the temperature of the heater for one-dimensional flow under these boundary conditions. It was implemented thermal processes in the cross section of the weld in the SolidWorks software environment, the COSMOSWorks application. Plastic films with a thickness of 20  $\mu\text{m}$  to 50  $\mu\text{m}$  and different degree of pollution were researched. Graphical dependences of the change in the welding temperature on the film thickness and the dynamics of the temperature rise in the weld of a single-layer plastic film without a substrate for one-way heating are obtained.

The results allow us to conclude that the contamination of the films with a layer of fine product causes a temperature difference from 1.67°C to 6.78°C. It depends on the film thickness and the layer of FBM. Increase in the thickness of the plastic material leads to the decrease in influence of the FBM layer between the contact surfaces on the strength of the weld.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-13

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕРМОКОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ПЛІВОК, ЗАБРУДНЕНИХ ДРІБНОДИСПЕРСНИМИ СИПКИМИ МАТЕРІАЛАМИ

О. М. Гавва, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

Ю. П. Шоловій, канд. техн. наук

Н. І. Магерус, канд. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка»

У статті наведені результати досліджень термоконтактного зварювання поліетиленових плівок, забруднених дрібнодисперсними сипкими матеріалами. Проведено моделювання процесу поширення теплоти в матеріалі при зварюванні полімерних плівок з одностороннім нагрівом, досліджено розподіл температури по товщині зварювального матеріалу та динаміку наростання температури у зварному шві для плівок різної товщини та різного ступеня забруднення.

**Ключові слова:** термоконтактне зварювання, поліетиленова плівка, дрібнодисперсний сипкий матеріал, полімерна упаковка.

**Постановка проблеми.** Серед загального валу пакувальної продукції значний відсоток займають дрібнодисперсні сипкі матеріали (ДСМ) з розмірами частинок менше 50 мікрометрів. До таких продуктів належать борошно, крохмаль, мелені перець і кава, цукор-пудра, харчові добавки тощо. Такий вид продукції потребує особливої уваги, оскільки навіть незначні коливання показників вологості, температури тощо здатні суттєво змінювати його властивості, що ускладнює процес переробки та пакування. Одним із ефективних способів пакування ДСМ у харчовій промисловості є пакування в тришовні пакети з різноманітних полімерних матеріалів, починаючи від одношарових поліетиленових плівок різної щільності до багатшарових високотехнологічних матеріалів з високими бар'єрними властивостями. У процесі пакування ДСМ на обладнанні вертикального компонування виготовлення м'якої споживчої упаковки, зазвичай, суміщене з процесом заповнення її продукцією (рис. 1) [1], тому на стінках рукава (у місцях формування поперечних зварних швів) осідає пил, утворений у результаті переміщення порції продукту з дозатора в майбутню упаковку.

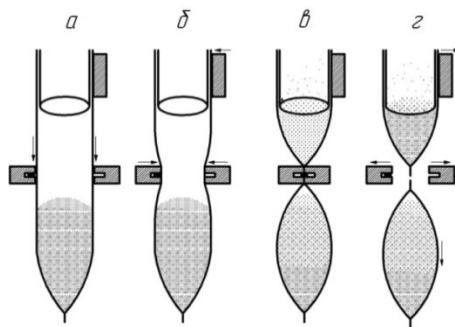


Рис. 1. Схема суміщених процесів виготовлення м'якої упаковки і наповнення її продукцією

Герметизація тришовних полімерних пакетів при пакуванні ДСМ полягає у сти-сканні рукава на цій ділянці, здійсненні енергетичного впливу на матеріал упаковки для отримання температури, необхідної для формування міцного поперечного зварного шва [2]. Тому забезпечення якісного зварювання полімерних плівок гарантуватиме надійну герметизацію пакетів при пакуванні дрібнодисперсної сипкої продукції з різними властивостями.

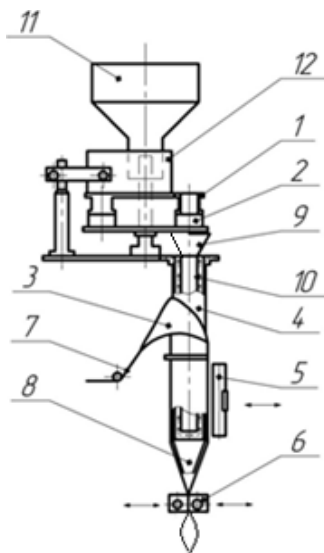


Рис. 2. Схема формування пакета і заповнення його ДСМ

При пакуванні ДСМ у тришовний полімерний пакет на лінійному автоматі вертикального компонування (рис. 2) пакувальний матеріал 7, переміщуючись по поверхні «комірця» 3, утворює навколо тубуса 4 нескінченний рукав, формування якого завершується зварюванням вертикального шва пристроєм 5, а зварювальний пристрій 6 формує горизонтальний шов. Обертання мірників 2 об'ємного дозатора 1 забезпечує формування дози ДСМ та її переміщення за допомогою напрямних 10 тубуса 4 у майбутню упаковку. Далі пристрої 5 та 6 відводяться, рукав з полімерної плівки протягується на довжину пакета і цикл повторюється.

Як правило, під час утворення вертикального зварного шва проблем не виникає, оскільки все залежить від правильної організації подачі плівкового матеріалу з рулону та формування рукава [3], а ось на якість горизонтального шва, окрім таких чинників, як температура зварювання, зусилля та час притискання, великий вплив має чистота внутрішніх поверхонь пакета.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Встановлено, що в процесі формування упаковки для ДСМ на контактних поверхнях зварювання осідає продукт дозування, товщиною шару якого від 0,003 до 0,01 мм. Відомо, що при зварюванні упаковки із шаром сипких речовин між контактуючими поверхнями (технічний вуглець, борошно, крохмаль, зубний порошок, будівельні суміші тощо) міцність зварного шва знижується на 15—20%, а час зварювання збільшується [4]. Інколи сильна забрудненість взагалі не дає змоги здійснити зварювання пакета, через що він потрапляє в брак.



Для з'єднання полімерних плівок нині використовують різні методи зварювання: контактний-тепловий, газовими теплоносіями, струмами високої частоти, інфрачервоними променями та ультразвуком. Міцність зварних швів для різних полімерних плівок при температурі 100—150°C знаходиться в межах 8—15 Н / 15 мм [5]. Однак осідання пилу в зоні формування зварних швів знижує їх міцність на 20—50% залежно від ступеня забруднення.

У результаті дослідження процесу термоконтактного зварювання плівкових матеріалів протягом короткого часу (до 1 с) [6] проаналізовано три режими зварювання, що відповідають різним значенням адгезії матеріалів на межі розділу та запропоновано пристрій з контролем температури і тиску, що дає змогу зварювати різні зразки термопластичних матеріалів. При дослідженні впливу адгезії між полімерами на якість зварного шва при термоконтактному зварюванні [7] запропоновано спосіб покращення міцності зварного шва шляхом нанесення поверхневих покриттів на нагрівальний елемент. Встановлено, що міцність зварного шва на зсув при цьому покращується на 32%. У статті [8] представлені результати дослідження лазерного зварювання тонких полімерних плівок до більш важкої основи. Однак дослідження щодо зварювання забруднених плівок відсутні.

**Метою статті** є дослідження термоконтактного зварювання поліетиленових плівок, забруднених ДСМ шляхом моделювання процесу поширення теплоти в матеріалі при зварюванні полімерних плівок з одностороннім нагрівом.

**Матеріали і методи.** З метою встановлення впливу товщини напиленого шару ДСМ на якість зварного шва упаковки було досліджено контактне теплове зварювання з одностороннім нагрівом поліетиленових плівок, що широко використовується у промисловості. При застосуванні такого методу теплота передається до зварних поверхонь за рахунок теплопровідності матеріалів і нагрівного інструмента.

**Результати дослідження.** Передачу теплоти при нестационарному режимі теплопровідності можна досліджувати як функцію температурного поля і теплового потоку в часі та в просторі [9]:

$$T=f(x, y, z, t) \text{ та } Q=\varphi(x, y, z, t), \quad (1)$$

де  $(x, y, z)$  — координати точки, що розглядається;  $t$  — час.

Розрахункове визначення температурних полів ґрунтується на схематизації теплових процесів. Відомо, що теплове поле в тілі можна формувати з миттєвих точкових джерел. Процес поширення теплоти в необмеженому теплопровідному тілі реалізовується за законом теплопровідності Фур'є [9]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

де  $T$  — температура, °C;  $a$  — коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с.

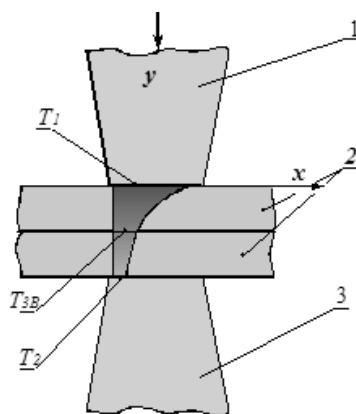
Температуропровідність характеризує швидкість поширення температури під дією теплового потоку в нестационарних температурних умовах. Коефіцієнт температуропровідності  $a$  визначається за формулою:  $a = \frac{\lambda}{C_p \rho}$ , де  $\lambda$  — коефіцієнт

теплопровідності,  $C_p$  — питома теплоємність,  $\rho$  — густина. Під теплопровідністю розуміють властивість полімеру переносити тепло від більш нагрітих частин до менш нагрітих. У результаті цього відбувається вирівнювання температур в об'ємі полімера.

Для подальшого дослідження процесу поширення теплоти в матеріалі рівняння (2) необхідно доповнити:

- а) геометричними умовами, що визначають форму і розмір нагрітого тіла;
- б) властивостями матеріалу нагрітого тіла: коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , питомою теплоємністю  $c$ , густиною  $\rho$ , їх залежностями від температури, якщо така є, а також змінною у просторі і в часі потужністю внутрішніх джерел теплоти  $q_v$ ;
- в) початковими умовами, що встановлюють розподіл температури всередині тіла  $T(x, y, z)$  в початковий момент часу  $T = 0$ . Для спрощення розрахунків, зазвичай, приймають, що при  $t = 0$  температура в усіх точках тіла однакова:  $T = T_0$ ;
- г) граничними умовами, що характеризують процес теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем.

При дослідженні одностороннього нагріву враховують, що товщина матеріалу значно менша за ширину та довжину шва. Також приймається, що тепловий потік від нагрівача спрямованим в одну сторону вздовж осі  $y$  (рис. 3).



**Рис. 3. Схема термоконтального зварювання з одностороннім нагрівом:** 1 — нагріваний інструмент; 2 — плівка, що зварюється; 3 — холодний інструмент;  $T_1$  — температура нагрітого інструменту;  $T_2$  — температура холодного інструменту;  $T_{зв}$  — температура поверхонь, що зварюються

Для спрощення розрахунків приймається, що всі площини, паралельні площині  $XU$ , будуть ізотермічними поверхнями. Початкова температура контактуючих поверхонь є функцією координати  $y$ . При дослідженні теплових полів завдання полягає у визначенні температури ізотермічних поверхонь у певний момент часу.

Розв'язок рівняння (2) повинен відповідати основному рівнянню теплопровідності Фур'є для одномірного теплового потоку при граничних умовах:

$$T(y, 0) = T_0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad t > 0;$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (3)$$

де  $y$  — товщина плівки від верхньої поверхні, що перебуває в контакт з нагрівачем, м.

При заданому початковому розподілі температури в матеріалі та відомих умовах теплообміну на його межах, а також за умови, що теплофізичні властивості матеріалу в процесі зварювання лишаються постійними, можна дослідити процес поширення тепла в матеріалі.

Розв'язуючи рівняння (3) методом точкових джерел, одержуємо:

$$\frac{T_H - T}{T_H - T_0} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-y}^0 e^{-\beta^2} d\beta, \quad (4)$$

де  $T_H$  — температура нагрівача в  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_0$  — початкова температура матеріалу в  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  — температура матеріалу в точці з координатою  $y$  в  $^{\circ}\text{C}$ .

Права частина виразу (4) є інтегралом імовірності, числове значення якого може бути знайдене за таблицями теплофізичних довідників або визначене за допомогою системи MathCad, зокрема функції ERF.

Рівняння теплопровідності відносно температури нагрівача  $T_H$  для одновимірного потоку при даних граничних умовах можна записати у вигляді:

$$T(y,t) = T_H - (T_H - T_0) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a \cdot t}}\right), \quad (5)$$

де  $T(y,t)$  — температура на відстані  $y$  від поверхні плівки,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$T_0$  — температура навколишнього середовища.

Враховуючи, що можуть зварюватися плівки різної товщини, доцільніше нагрів проводити через тоншу плівку  $h$ , тоді використовуючи рівняння (5) можна визначити температуру матеріалу у зоні зварного з'єднання:

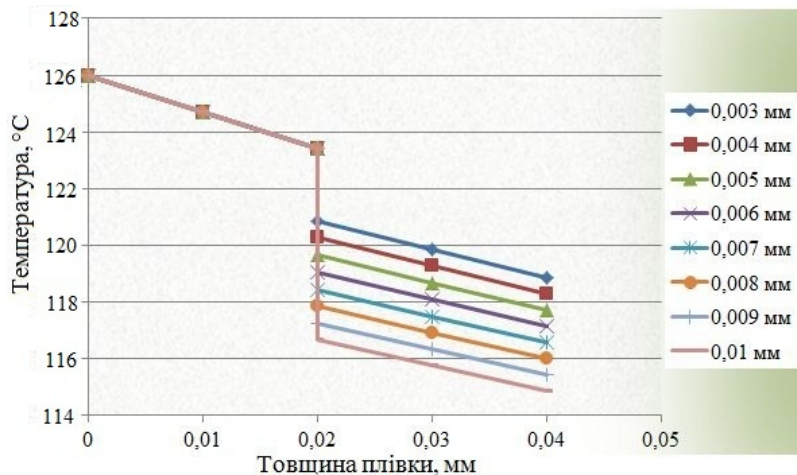
$$T_{ЗВ} = T_H - (T_H - T_0) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{h}{2\sqrt{a \cdot t}}\right). \quad (6)$$

Однак таку математичну модель (6) доцільно використовувати при зварюванні полімерних пакетів, у яких контактуючі поверхні не забруднені частинками ДСМ. Оскільки забруднення поверхонь зварювання негативно впливає на передачу тепла від нагрівального елемента до зони зварного шва, то в програмному середовищі SolidWorks з допомогою додатку COSMOSWorks було проведено моделювання теплових процесів у поперечному перерізі шва з урахуванням різного ступеня забруднення зварних поверхонь.

Для дослідження впливу шару ДСМ між контактуючими поверхнями на процес формування упаковки було проведено моделювання процесу зварювання поліетиленових плівок товщиною від 20 мкм до 50 мкм. Як продукт пакування було вибрано борошно. При дослідженні температурних полів у матеріалі прийнято температуру нагрівача  $300^{\circ}\text{C}$ , температуру навколишнього середовища  $25^{\circ}\text{C}$ , а коефіцієнт теплопровідності представлено як функцію температури.

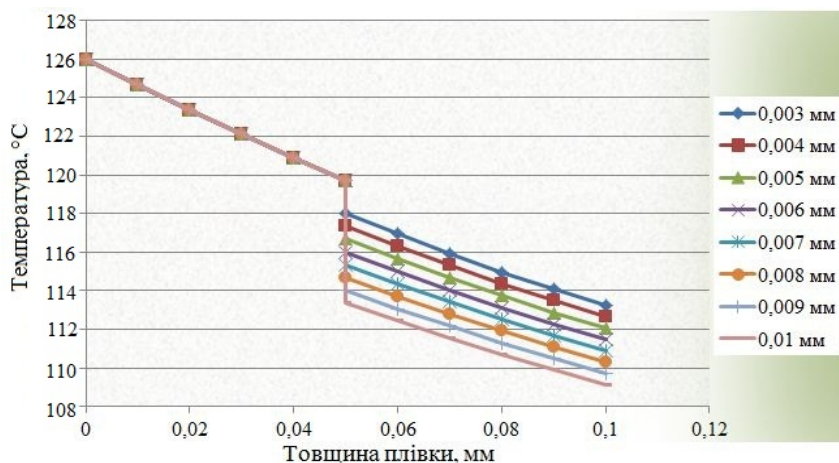
У результаті моделювання отримано графічні залежності зміни температури зварювання по товщині плівки (рис. 4), які засвідчують, що в плівці, яка знаходиться в контакт з нагрівачем, температура рівномірно спадає. Однак у зоні контакту двох плівок, забруднених шаром ДСМ, який потрапив на стінки рукава під час процесу завантаження пакета, має місце різке зниження температури. При моделюванні цього процесу прийнято товщини шару ДСМ на поверхні зварних матеріалів, у межах від 0,003 мм до 0,01 мм. Величина цього перепаду температур залежить від товщини шару ДСМ на стінках зварних поверхонь і становить від  $2,56^{\circ}\text{C}$  — при

товщині шару 0,003 мм до 6,78°C — при товщині шару 0,01 мм. Температура в зоні зварювання при дослідженні плівок такої товщини знаходиться приблизно в межах 121—117°C залежно від ступеня забруднення плівок ДСМ.



**Рис. 4. Розподіл температури по товщині матеріалу плівки товщиною 0,02 мм при різних значеннях забруднення зварних поверхонь**

Аналогічні дослідження були проведені для плівок товщиною 0,03 мм, 0,04 мм та 0,05 мм. Графічні залежності (рис. 5) відображають розподіл температури в поперечному перерізі шва для максимальної в нашому дослідженні товщини плівки 50 мкм.



**Рис. 5. Розподіл температури по товщині матеріалу для плівки товщиною 0,05 мм при різних значеннях забруднення зварних поверхонь**

Встановлено, що температура в зоні зварювання коливається в межах 118—113°C залежно від товщини шару ДСМ між плівками. А різкий спад температури у цьому місці становить 1,67°C — при товщині шару ДСМ 0,003 мм та 6,33°C — при товщині шару ДСМ 0,01 мм.

Також було проведено моделювання перехідних процесів (нестационарних), що виникають у момент підведення нагрівача до плівок. Нестационарний тепловий розрахунок моделює розподіл теплової енергії залежно від часу. Оскільки повний цикл термозварювання на пакувальних автоматах триває менше однієї секунди, то й перехідний процес розглянуто в межах цього ж інтервалу часу. На рис. 6 представлена динаміка наростання температури в зварному шві при односторонньому нагріві одношарової поліетиленової плівки без підкладки. Для визначення динаміки нагріву необхідно виходити з температури нагрівного інструмента, для прикладу взята  $T_H = 300^\circ\text{C}$ . На графіку виділена робоча зона зварювання для поліетилену ( $T_{зв} = 120 \div 125^\circ\text{C}$ ), яка надає можливість чітко встановити технологічний час зварювання для плівок заданої товщини.

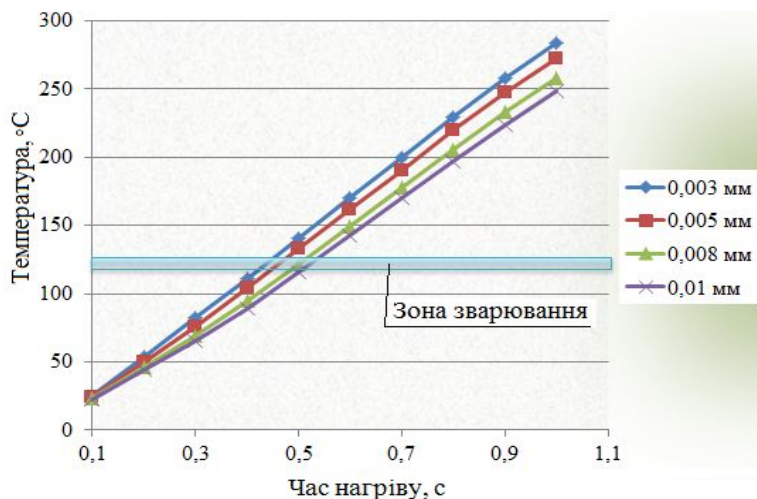


Рис. 6. Динаміка наростання температури у зварному шві при односторонньому нагріві ( $T_H = 300^\circ\text{C}$ ) поліетиленової плівки товщиною 20 мкм при різних ступенях забруднення

Аналіз залежностей показує, що швидкість зростання температури залежить від ступеня забруднення контактуючих поверхонь сипкими продуктами: при мінімальному шарі ДСМ (0,003 мм) між контактуючими поверхнями температура в зоні зварювання досягає потрібного значення за 0,45 с, що значно швидше, ніж у випадках більшої товщини забрудненого шару, зокрема, при зростанні шару ДСМ до 0,01 мм необхідний час для зварювання плівки зростає до 0,53 с. Враховуючи те, що повний цикл термозварювання становить менше секунди, то таке зростання температури при збільшенні шару продукту між поверхнями зварювання може впливати на продуктивність пакувального автомата.

Аналогічні результати моделювання процесу нагрівання та формування зварного шва було отримано для поліетиленової плівки товщиною 50 мкм (рис. 7): для нагрівання полімерної плівки товщиною 50 мкм до температури зварювання необхідно затратити від 0,5 с до 0,68 с залежно від шару ДСМ, що осів на поверхні рукава в зоні зварювання.

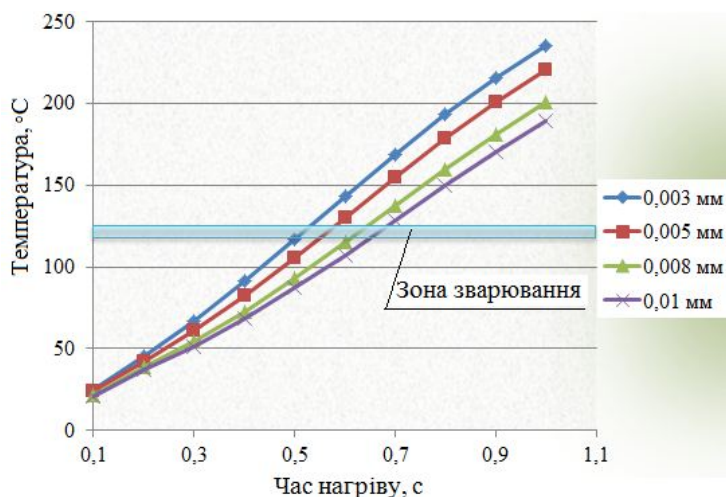


Рис. 7. Динаміка наростання температури у зварному шві при односторонньому нагріві ( $T_n = 300^\circ\text{C}$ ) поліетиленової плівки товщиною 50 мкм при різних ступенях забруднення

**Висновки.** Аналіз отриманих результатів дає змогу зробити висновок, що рівномірний розподіл температур відбувається лише по товщині зварювальних плівок. Однак у зоні контакту цих плівок відбувається різкий температурний спад, спричинений забрудненням плівок шаром дрібнодисперсного продукту: температурний перепад змінюється від  $1,67^\circ\text{C}$  до  $6,78^\circ\text{C}$  залежно від товщини плівки та шару ДСМ. Встановлено, що при збільшенні товщини полімерного матеріалу, що зварюється, зменшується вплив шару ДСМ між контактуючими поверхнями на міцність зварного шва.

Оскільки забруднення зварювальних поверхонь полімерних плівок шаром ДСМ призводить до зниження температури зварювання між контактуючими поверхнями, то міцність зварного шва також буде знижуватись. На основі проведених досліджень встановлено, що міцність зварного з'єднання при товщині ДСМ між поверхнями зварювання 10 мкм знизиться на 4% при незмінних тривалості дії нагрівного елемента й тиску на плівку упаковки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ефремов Н. Ф. Тара и ее производство: Уч. пособие / Н. Ф. Ефремов — М.: Изд-во МГУП, 2001. — 312 с.
2. Барсуков Р. В., Сливине О. Н., Хмельов В. Н., Циганок С. Н., Пустунів А. В., Савін І. І., Левін С. В. Зварювання термопластичних полімерних матеріалів / Бійський технологічний інститут Алтайського держ. техн. ун-ту. — Бійськ. Росія. — 2004. — 184 с.
3. Пригодій Д. В. Удосконалення теорії динаміки і обладнання систем транспортування плівкових матеріалів в технологіях пакування продукції / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. — Київ, 2018. — 167 с.
4. Волков С. С., Черняк Б. Я. Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1986. — 256 с.
5. Шредер В. Л., Гавва А. Н., Кривошей В. Н. Упаковывание пищевых продуктов в гибкие материалы. — Упаковка № 3. — 2011. — С. 23—26.
6. Julien Avenet, Arthur Levy, Jean-Luc Bailleul, Steven Le Corre, Jérôme Delmas Adhesion of high performance thermoplastic composites: Development of a bench and procedure for kinetics identification. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X20302931>.

7. Vincent Rohart, Louis Laberge Lebel, Martine Dubé Improved adhesion between stainless steel heating element and PPS polymer in resistance welding of thermoplastic composites.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836819330033>.

8. N. Brown, D. Kerr, M. R. Jackson, R. M. Parkin Laser welding of thin polymer films to container substrates for aseptic packaging.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030399200000335>.

9. Валецький Б. П. Підвищення ефективності роботи машин для велико-габаритного пакування з плівкозварювальними механізмами / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук — Луцьк, 2010. — 148 с.

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕРМОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕЛКОДИСПЕРСНЫМИ СЫПУЧИМИ МАТЕРИАЛАМИ**

**А. Н. Гавва**

*Национальный университет пищевых технологий*

**Ю. П. Шоловий, Н. И. Магерус**

*Национальный университет «Львовская политехника»*

*В статье приведены результаты исследований термоконтантной сварки полиэтиленовых пленок, загрязненных мелкодисперсными сыпучими материалами. Проведено моделирование процесса распространения теплоты в материале при сварке полимерных пленок с односторонним нагревом, исследовано распределение температуры по толщине сварочного материала и динамику нарастания температуры в сварном шве для пленок различной толщины и разной степени загрязнения.*

**Ключевые слова:** *термоконтантная сварка, полиэтиленовая пленка, мелкодисперсный сыпучий материал, полимерная упаковка.*

УДК 621.87

## AQUATRONICS IN SYSTEMS OF LIQUID FOOD PRODUCTS FOR PACKAGING LINES

**M. Yakymchuk, O. Gavva, S. Tokarchuk, V. Yakymchuk***National University of Food Technologies***Key words:**

aquatronics,  
liquid food product,  
control system,  
physical model,  
energy consumption

**Article history:**

Received 14.06.2021

Received in revised form  
12.07.2021

Accepted 10.09.2021

**Corresponding author:**

mykolaikymchuk.2016  
@gmail.com

**ABSTRACT**

The quality of liquid food packaging is inextricably linked with innovations in the development of technological packaging equipment and the qualification of production staff. One of the innovative directions of development of new packaging systems is the modernization of liquid food supply systems.

Designing the latest liquid food supply systems in packaging lines require from designers engineering knowledge to ensure energy efficiency and reliability of their work. The importance of developing and systematizing such knowledge led to the creation of a new branch of science — aquatronics. According to the terminological definition, "aquatronics" is a synergistic combination of structural elements, technologies, energy and information flows for effective management of energy and water resources. The main directions of aquatronics are the study of new methods of control and management of the automatic process of fluid supply, taking into account energy-saving technologies of consumption.

The article considers the possibility of using training equipment "Aquatronic — Festo" as a physical model that reflects the real processes of liquid food products supply and energy management systems. Using the physical model "Aquatronic — Festo", the authors conducted experimental studies and analyzed the amount of energy consumption for the movement of liquid food products in the systems as a function of energy management.

The presented results of experimental researches show the dependence of the change in the value of local resistances as a function of the energy consumption of the liquid food supply system.

Research has shown that regular maintenance of liquid food products supply systems in packaging lines ensures uninterrupted and trouble-free operation of pumps and other equipment, and the introduction of new regulated control systems — reduces energy consumption.

It is expedient to use the received results at creation of new energy saving systems of giving of a liquid food product in packing lines.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-14

---



## АКВАТРОНІКА В СИСТЕМАХ ПОДАЧІ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЛІНІЙ ПАКУВАННЯ

М. В. Якимчук, д-р техн. наук

О. М. Гавва, д-р техн. наук

С. В. Токарчук, канд. техн. наук

В. М. Якимчук

Національний університет харчових технологій

*У статті розглядається можливість використання установки «Акватронік — Фесто» як фізичної моделі, яка відображає реальні процеси подачі рідкого харчового продукту та систем керування енерговитратами. Автори за допомогою фізичної моделі «Акватронік — Фесто» провели експериментальні дослідження та проаналізували величину споживання енергії на переміщення рідкого харчового продукту в системах подачі як функцію керування енерговитратами.*

*Наведені результати експериментальних досліджень показують залежність зміни величини місцевих опорів як функції енерговитрати системи подачі рідкого харчового продукту.*

*За результатами досліджень доведено, що регулярні заходи з обслуговування систем подачі рідких харчових продуктів у лініях пакування забезпечують безперебійну і безвідмовну роботу насосів та іншого обладнання, а впровадження нових регульованих систем керування — зменшують енерговитрати.*

*Отримані результати доцільно використовувати при створенні нових енергоощадних систем подачі рідких харчових продуктів на лініях пакування.*

**Ключові слова:** акватроніка, рідкий харчовий продукт, система керування, фізична модель, споживання енергії.

**Постановка проблеми.** Якість пакування рідкого харчового продукту нерозривно пов'язана з інноваціями в розвитку технологічного обладнання пакування та кваліфікацією виробничого персоналу. Одним із інноваційних напрямків розвитку нових пакувальних систем є модернізація систем подачі рідкого харчового продукту. Аналіз життєвого циклу системи подачі рідкого харчового продукту в структурі пакувального обладнання показує, що вартість її елементної бази та монтажу становить менше 20—25% від загальної. Велика частина витрат життєвого циклу пов'язана зі споживанням енергії на переміщення рідкого харчового продукту, залученням додаткових ресурсів на ремонт та обслуговування системи, ефективністю керування процесом тощо. Технологія керування енерговитратами стає найбільш важливою темою на всіх ділянках функціонування системи подачі рідкого харчового продукту.

Проектування новітніх систем подачі рідкого харчового продукту потребують від проектувальників інженерних знань щодо забезпечення енергоефективності та надійності їх роботи. Важливість розвитку та систематизації таких знань призвела до створення нової галузі науки — акватроніки. За термінологічним визначенням акватроніка — це синергетичне об'єднання структурних елементів, технологій, енергетичних та інформаційних потоків для ефективного керування енергетичними та водними ресурсами. Головними напрямками акватроніки є вивчення нових способів контролю та керування автоматичним процесом подачі рідини з урахуванням енергоощадних технологій споживання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1] розглядається вивчення конструкцій елементів систем подачі рідини, наводиться опис технічних проектів та

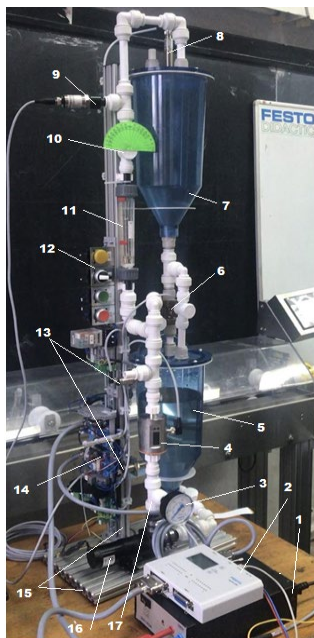
результати наукових досліджень роботи таких системи. Однак із застосуванням новітніх способів керування потоками рідини на основі пропорційних сигналів наведені результати потребують доповнення й уточнення.

Дослідження методик і методів очищення стічних вод, аналіз конструкції фільтрів, визначення ступеня фільтрації та інші питання автоматизації наведені в [2—4]. Однак у цих працях не наведено схеми керування процесами очистки.

Опису мембранної фільтрації рідини в автоматизованих технологічних процесах очистки із застосуванням пристроїв контролю присвячена праця [5]. Однак наведені технологічні схеми подачі рідин мають обмежене використання в пакувальному обладнанні.

У [6; 7] розглянуто використання мехатронних систем у пакувальному обладнанні для фасування рідких харчових продуктів. Наведені методики розрахунку та підбору елементів мехатронних систем можуть використовуватися для технологічних операцій дозування та фасування рідкого харчового продукту і лише наближено — для проектування систем його подачі.

**Мета статті:** дослідження енергетичних витрат у системах подачі рідкого харчового продукту ліній пакування шляхом використання фізичної моделі «Аква-тронік — Фесто».



**Рис. 1.** Фізична модель «Аква-тронік — Фесто»: 1 — блок живлення; 2 — Easy Port USB інтерфейс; 3 — манометр; 4 — витратомір; 5 — нижній резервуар; 6 — електромагнітний клапан; 7 — верхній резервуар; 8 — ультразвуковий датчик рівня; 9 — датчик тиску; 10 — запірна арматура; 11 — ротаметр; 12 — блок управління; 13 — дискретні датчики рівня; 14 — I/O блок; 15 — станина; 16 — насосна станція; 17 — трубопровід

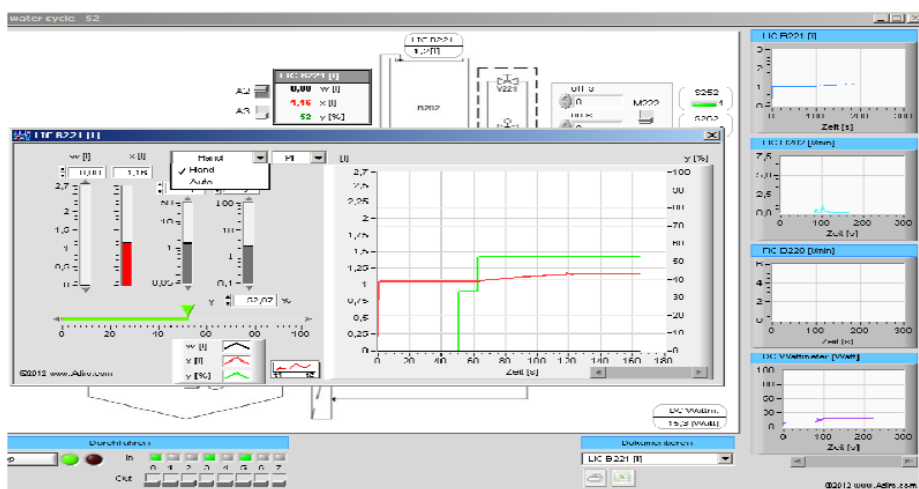
**Матеріали і методи.** Аналіз і наукове узагальнення даних літературних джерел, чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії, результати теоретичних та експериментальних досліджень оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

**Результати і обговорення.** Відомо, що збільшення величин опорів у системі трубопроводів подачі рідкого харчового продукту призводить до збільшення часу

роботи насосів і додаткових витрат енергії. Дослідження режимів роботи насосів щодо енергоспоживання в таких системах є досить складним процесом унаслідок впливу зовнішніх факторів, які важко описати математичними залежностями. В такому випадку для визначення характеристик їх впливу необхідно проводити експериментальні дослідження на промислових установках, що досить проблематично. Тому для таких досліджень широко застосовуються фізичні моделі, які відображають реальні процеси подачі рідкого харчового продукту та системи їх керування.

Прикладом такої моделі є установка компанії Festo «Акватронік — Фесто» (рис. 1).

Установка «Акватронік — Фесто» включає в себе дві підсистеми. Перша забезпечує дослідження основ роботи вимірювальної техніки й автоматичних систем регулювання, друга — служить для дослідження цільових функціональних груп та їх енергоефективності. Установка «Акватронік — Фесто» має програмне забезпечення FluidLab®, яке в реальному часі через Easy Port USB інтерфейс передає технологічні й технічні показники роботи системи на персональний комп'ютер. На екрані комп'ютера графічно відображається поточне споживання енергії приводом насоса, електромагнітними клапанами тощо в [Вт] та її накопичене значення в проміжок часу в [Втч] (рис. 2, нижнє вікно на правій стороні).

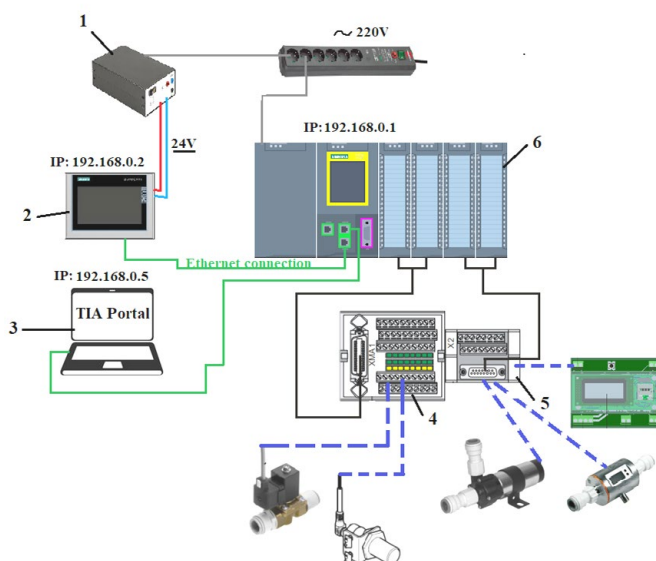


**Рис. 2.** Програмне забезпечення FluidLab® відображає в реальному часі технологічні і технічні показники технологічного процесу подачі рідкого харчового продукту

У наведеному прикладі подача рідкого харчового продукту відбувалася в ручному режимі керування насосом, продуктивність якого було збільшено від 30% до 52%. Одночасно з командами системи керування формувалася графік пікового споживання енергії (показник ватметра в реальному часі) як функції часу. Фактичне енергоспоживання системи подачі рідкого харчового продукту також візуалізується як число — «15.3 Ват» в правому нижньому кутку вікна.

На першому етапі дослідження було створено фізичну модель акватронної системи подачі та дозування рідкого харчового продукту в споживчу упаковку за умови дотримання його постійного рівня у витратному резервуарі (рис. 3). Керуючим елементом акватронної системи є програмований логічний контролер (ПЛК), який забезпечує функцію «штучного інтелекту». Зворотний зв'язок у такій системі забезпечується датчиками витрат і рівня. Моделювання зміни величини місцевого опору

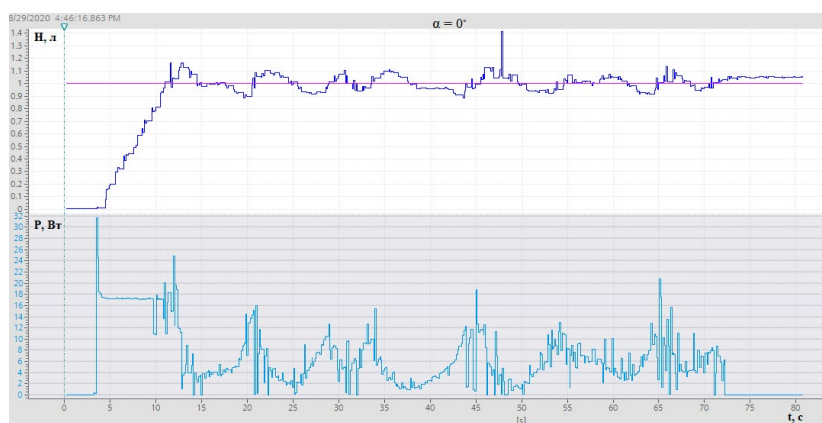
гідравлічної системи в трубопроводах подачі рідкого харчового продукту забезпечувалося за рахунок зміни кутів повороту ручки запірної арматури «JohnGuest 15ESOT» що призводило до звуження перерізу трубопроводу й утворення коефіцієнтів опорів ( $\xi$ ) від 0,2 до 0,6.



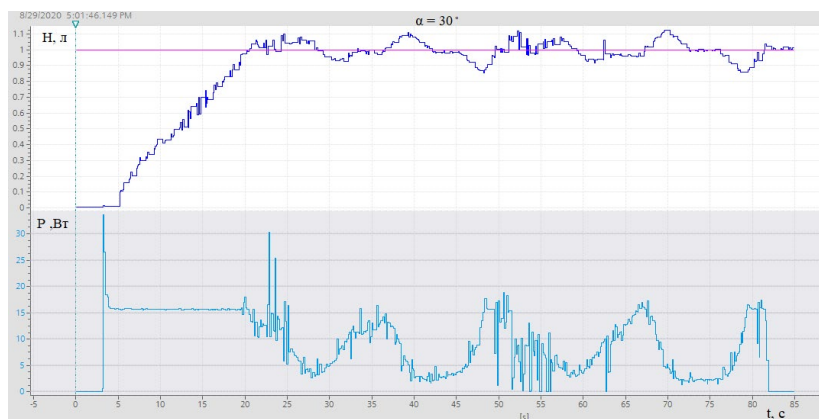
**Рис. 3.** Структура керування фізичною моделлю акваторної системи подачі та дозування рідкого харчового продукту в споживчу упаковку за умови дотримання його постійного рівня у витратному резервуарі: 1 — блок живлення 24В; 2 — HMI-панель; 3 — ПК; 4 — блок дискретних входів/виходів; 5 — блок аналогових входів/виходів; 6 — ПЛК

Для підтримання рівня рідини у витратному резервуарі на програмному рівні керування використали PID — регулятор.

Для кожного експерименту графічно в режимі реального часу відображались енергетичні витрати, покази рівня у витратному резервуарі та величина сумарної потужності. Для зручності аналізу отриманих результатів були суміщені графіки коливань рівня та споживаної потужності за часом (рис. 4 і 5).



**Рис. 4.** Графіки коливання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі та споживаної потужності за умови величини місцевого опору гідравлічної системи  $\xi = 0,2$



**Рис. 5. Графіки коливання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі та споживаної потужності за умови величини місцевого опору гідравлічної системи  $\xi = 0,6$**

Аналіз сумарних енергетичних витрат  $\Sigma P$  насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі (табл. 1) показує, що збільшення внутрішнього опору в гідравлічній системі призводить до збільшення сумарних енергетичних витрат, що очевидно є наслідком збільшення часу набирання  $t_n$  рідини у витратний резервуар.

**Таблиця 1. Сумарні енергетичні витрати  $\Sigma P$  насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі**

$\xi$	$\Delta H$ , л	$\Sigma P$ , Вт*год	$\Sigma t$ , с	$t_n$ , с
$\xi = 0,2$	0,25	0,122	69	8
$\xi = 0,3$	0,32	0,137	70	9,5
$\xi = 0,4$	0,29	0,166	74	12,5
$\xi = 0,6$	0,27	0,206	79	18

**Примітка:**  $\xi$  — зміна величини місцевого опору в гідравлічній системі;  $\Delta H$ , (л) — коливання рівня рідини у витратному резервуарі;  $\Sigma P$ , (Вт\*год) — сумарні енергетичні витрати насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі;  $\Sigma t$ , с — тривалість процесу дозування;  $t_n$ , (с) — тривалість набирання рідини у витратний резервуар до заданого рівня.

### Висновки.

1. Встановлено залежність часу заповнення витратного резервуару рідким харчовим продуктом до заданого рівня при різних величинах місцевих опорів. Так, у випадку експлуатації системи з номінальними місцевими опорам ( $\xi = 0,2$ ) час становить  $t_{n1} = 8$ с. При зростанні місцевих опорів (до  $\xi = 0,6$ ) час збільшується до  $t_{n4} = 18$ с.

2. За результатами аналізу графіків, отриманих у системі керування TIA Portal, було досліджено величину відхилення поточного рівня рідини  $\Delta H$  у витратному резервуарі за умови використання PID-регулятора. Встановлено, що коливання рівня рідини знаходяться в межах  $\Delta H = 0,25 - 0,32$  мм. Експериментально доведено, що PID-регулятор якісно нівелює вплив збільшення місцевих опорів у гідравлічній системі на коливання рівня в процесі дозування.

3. Порівняльний аналіз отриманих графіків довів, що регулярні заходи з обслуговування систем подачі рідкого харчового продукту щодо зменшення місцевих

опорів та оптимального налаштування параметрів регульованих систем керування — ефективний спосіб скорочення споживання енергії, безвідмовної роботи насосів та іншого обладнання.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Turnkey Projects — for Science technology and education. // Festo Didactic Global Project Solutions DC-ES. — Germany, 2013. — 18 с.
2. Wastewater disposal / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2014. — 48 с.
3. Wastewater treatment / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2014. — 68 с.
4. Rapid sand filtration / P. Maurer, Y. Salazar, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2015. — 54 с.
5. Membrane filtration // K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers, P. Maurer, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2015. — 62 с.
6. Якимчук М. В. Науково-технічні засади створення обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: дис. докт. техн. наук / М. В. Якимчук; НУХТ. — К., 2016. — 447 с.
7. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів. / М. В. Якимчук, О. М. Гавва, А. П. Беспалько та ін. // К: Видавництво «Сталь», 2017. — 515 с.

## АКВАТРОНИКА В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЛИНИЙ УПАКОВКИ

**Н. В. Якимчук, А.Н. Гавва, С.В. Токарчук, В.Н. Якимчук**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассматривается возможность использования учебного оборудования «Акватроник — Фесто» как физической модели, которая отражает реальные процессы подачи жидкого пищевого продукта и систем управления энергозатратами. Авторы с помощью физической модели «Акватроник — Фесто» провели экспериментальные исследования и проанализировали величину потребления энергии на перемещение жидкого пищевого продукта в системах подачи как функцию управления энергозатратами.*

*Приведенные результаты экспериментальных исследований показывают зависимость изменения величин местных сопротивлений как функции энергозатрат системы подачи жидкого пищевого продукта. По результатам исследований доказано, что регулярные мероприятия по обслуживанию систем подачи жидкого пищевого продукта в линиях упаковки обеспечивают бесперебойную и безотказную работу насосов и другого оборудования, а внедрение новых регулируемых систем управления — уменьшают энергозатраты.*

*Полученные результаты целесообразно использовать при создании новых энерго-сберегающих систем подачи жидких пищевых продуктов в линиях упаковки.*

**Ключевые слова:** акватроника, жидкий пищевой продукт, система управления, физическая модель, потребление энергии.

УДК 621.87

## EXPERIMENTAL STUDIES OF STATIC HYDRAULIC HYSTERESIS PHENOMENON IN METERING MECHATRONIC MODULE

**S. Tokarchuk, L. Krivoplas-Volodina, G. Valiulin***National University of Food Technologies***Key words:**

packaging,  
dosage,  
functional mechatronics  
module,  
viscous products,  
machine

**Article history:**

Received 14.04.2021

Received in revised form  
12.05.2021

Accepted 01.06.2021

**Corresponding author:**

tmpt\_xp@ukr.net

**ABSTRACT**

The task of improving and developing machines and their elements are relevant at any stage of their life cycle. Along with ensuring the value of the specified productivity, one of the main tasks that they are trying to solve when synthesizing the structural and structural schemes of machines is to minimize the costs of their production and operation. The cost of the equipment is proportional to its metal consumption and energy supply. In addition, taking into account the realities of today and the constant increase in the cost of energy carriers, one of the main components of operating costs is the consumption of electricity by equipment.

The paper presents a study of the operating parameters of the functional mechatronics module for dosing viscous products. The operation of the module is based on the erlift volumetric method of dosing and the use of an electro-pneumatic automatic control system. This involves connecting a control device (multi-channel proportional pressure regulator ER Camozzi) to the object and introducing it into the feedback system. The task of the regulator is to control the actuator so that the inconsistency signal is reduced to zero in the presence of disturbances.

A laboratory plant was developed and constructed to carry out a set of experimental studies. Based on the obtained results of experimental studies, characteristics of the process of processing a viscous food product in the proposed FMM system are obtained. Repeat ability was maintained when the dosage time interval was changed. This indicates that it is possible to dosing the same volume of product over a predetermined processing time.

Proposed design of functional mechatronics module in comparison with “classical” scheme of piston volume dosage has several advantages. The product jet supply is implemented for a wide range of viscous food products with ensuring high quality indicators of the dosing process and ease of installation and operation. Also, there is a decrease in material consumption and power consumption due to the absence of a pneumatic drive system and shutoff valves.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-15

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА СТАТИЧНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГІСТЕРЕЗИСА В ДОЗУВАЛЬНОМУ МЕХАТРОННОМУ МОДУЛІ

С. В. Токарчук, канд. техн. наук

Л. О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук

Г. Р. Валіулін, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

*Завдання вдосконалення та розвитку машин та їх елементів є актуальним на будь-якому етапі їх життєвого циклу. У статті представлено дослідження параметрів роботи функціонального мехатронного модуля дозування в'язкої продукції, роботу якого засновано на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози та використання електропневматичної системи автоматичного керування. Запропоноване виконання функціонального мехатронного модуля може застосовуватись для широкого асортименту в'язких харчових продуктів із забезпеченням високих показників якості процесу дозування.*

**Ключові слова:** пакування, дозування, функціональний мехатронний модуль, в'язкі продукти, машина.

**Постановка проблеми.** Сегмент пакувального обладнання, призначеного для дозування та пакування в'язких харчових продуктів, доволі широкий. Це зумовлено як різницею реологічних властивостей пакованих продуктів, так і використанням різних видів і типів пакувань [1]. При цьому існує доволі велика кількість конструктивних схем фасувальних машин, складові елементи яких вже застаріли як фізично, так і морально.

Питанням, пов'язаним з дослідженням процесу пакування в'язких продуктів й особливостям виконання функціональних модулів пакувальних машин цієї групи в тій чи іншій мірі присвячені наукові праці В. Н. Шувалова, Д. В. Аристова, В. А. Благодарського, Б. Е. Бройдо, С. В. Харламова, А. І. Соколенка, О. М. Гавви, В. М. Мусійчука та інших. Аналіз цих досліджень дав змогу стверджувати, що повсючасно актуальною є проблема розробки нового обладнання, яке б не лише гарантувало високі показники продуктивності праці, але й було б надійним і довговічним, дало змогу зменшити собівартість продукції.

Поряд із забезпеченням величини заданої продуктивності одним з головних завдань, яке намагаються розв'язати під час синтезу структурних і конструктивних схем машин, є мінімізація витрат на їх виробництво та експлуатацію. Вартість обладнання пропорційна його металомісткості та енергозабезпеченості. Крім того, з урахуванням реалій сьогодення і постійним зростанням вартості енергоносіїв, однією з головних складових експлуатаційних затрат є споживання обладнанням електроенергії. Отже, мінімізація енерговитрат — один з основних критеріїв, що характеризує вибір раціональних параметрів машини.

Саме тому нагальною є потреба в розробленні окремих фасувальних мехатронних модулів (ФММ) машин для пакування в'язких продуктів, які б не лише забезпечували задані вимоги виробництва із функціональності, продуктивності і якості для пакованої продукції, але й забезпечували можливість мінімізації виробничих та експлуатаційних витрат.



**Мета статті:** дослідження параметрів ФММ дозування в'язких харчових продуктів на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження обрано ФММ, призначений для дозування в'язких харчових продуктів на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози, та процеси, які відбуваються в елементах фасувального мехатронного модуля під час відокремлення та переміщення дози в'язкої харчової продукції. В ході обробки теоретичних та експериментальних результатів застосовано декілька методів обробки: аналітичний, математичного моделювання, порівняльний, теоретико-емпіричний.

**Результати дослідження.** Використання «класичного» дозатора на основі поршневої системи є виправданим для продуктів середньої та високої в'язкості (згущене молоко, сметана, мед, йогурт тощо) [2]. У той же час для таких продуктів, як кефір, питний йогурт без наповнювачів, олія тощо (продукти відносно невисокої в'язкості) доречною є розробка новітніх дозувальних пристроїв. Можливим вирішенням цієї проблеми, на нашу думку, є використання систем, у яких як робочий орган, необхідний для примусової подачі продукції, буде виступати стиснене повітря. Це дасть змогу як зменшити масу функціонального модуля дозування, так і підвищити його продуктивність за рахунок усунення холостого ходу.

З метою вирішення поставленого завдання розроблено ФММ дозування, спрощену схему якого наведено на рис. 1 [3]. У запропонованому конструктивному виконанні реалізована система автоматичного регулювання та контролю параметрів технологічного процесу: тиск, об'ємні витрати; час дозування; швидкість підведення потоку продукту в системі продуктопроводу. Ефект оптимального регулювання дозами в'язкого харчового продукту досягається за допомогою введення в систему керування пропорційної техніки.

ФММ дозування в'язкого продукту (рис. 1) складається із: живильника подачі 1, який включає ємність в'язким продуктом 15 та ежектор 14, мехатронний блок керування 2 із системою зворотного зв'язку, дозувально-фасувального модуля 3, до складу якого входять корпус 4, шток 5, сідло 6, клапан 7, втулка 8, пружина 9, манжета 10, електропневматичний привод 11, автоматичний запірний клапан 12, фасувальний патрубок (насадка) 13.

Модуль працює таким чином: в'язкий продукт надходить із ємності 15 живильника подачі 1 за рахунок подачі стисненого повітря через ежектор 14, що призводить до захоплення продукту та формування на виході струменя. Продукт через автоматичний запірний клапан 12 подається до дозувально-фасувального модуля 3. Під час подачі стисненого повітря до електропневматичного приводу 11 шток 5 піднімається і клапан 7 відходить від сідла 6, відкриваючи таким чином канал виходу продукту крізь фасувальний патрубок 13. Після припинення подачі стисненого повітря шток 5 та клапан 7 повертаються у початкове положення за допомогою пружини 9, яка перемішує втулку 8 донизу відносно корпуса 4.

Для захисту приводних елементів від потоку продукту передбачено манжету 10. Швидкість та величина переміщення клапана 7 відносно сідла 6 регулюється мехатронним блоком керування 2 із системою зворотного зв'язку за значенням зміни тиску, що, у свою чергу, дає змогу забезпечити безступінчасту зміну інтенсивності та характеру потоку продукту на виході із фасувального патрубку 13.

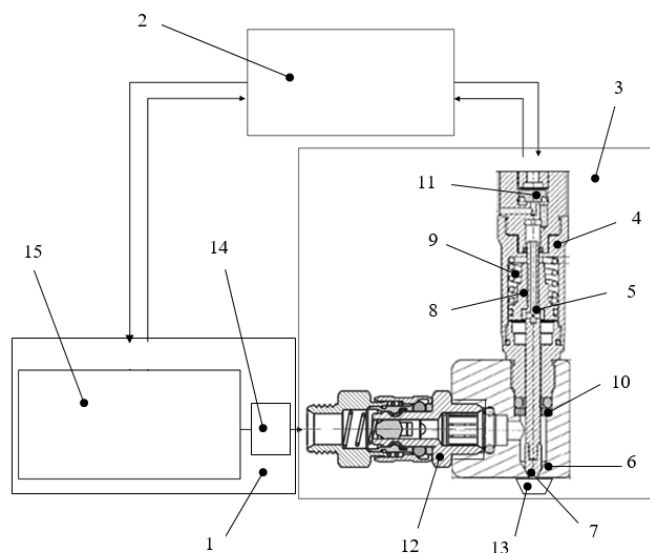


Рис. 1. Спрощена схема функціонального мехатронного модуля дозування

З метою подальшого вдосконалення та спрощення конструктивного виконання розробленого ФММ запропоноване його конструктивне виконання на основі реалізації ерліфтного підведення в'язких харчових продуктів і використання електропневматичної системи автоматичного керування. Це передбачає підключення до об'єкта регулюючого пристрою (багатоканального пропорційного регулятора тиску ER Camozzi) [4] і введення його в систему зворотного зв'язку. Узагальнена блок-схема має вигляд, наведений на рис. 2.

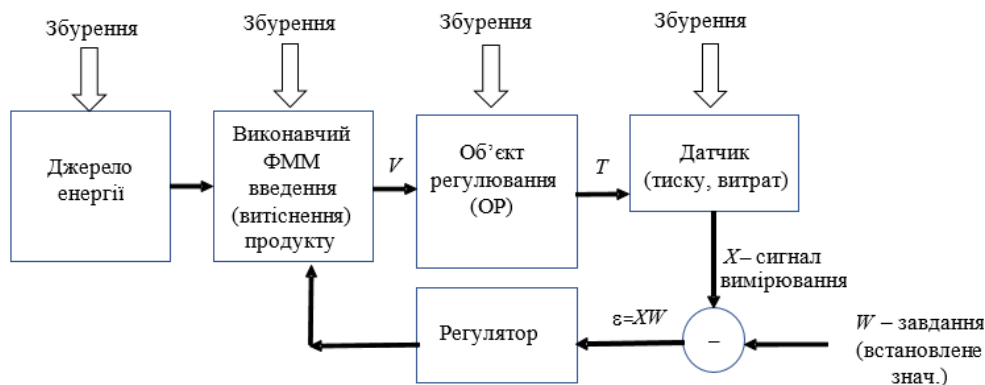


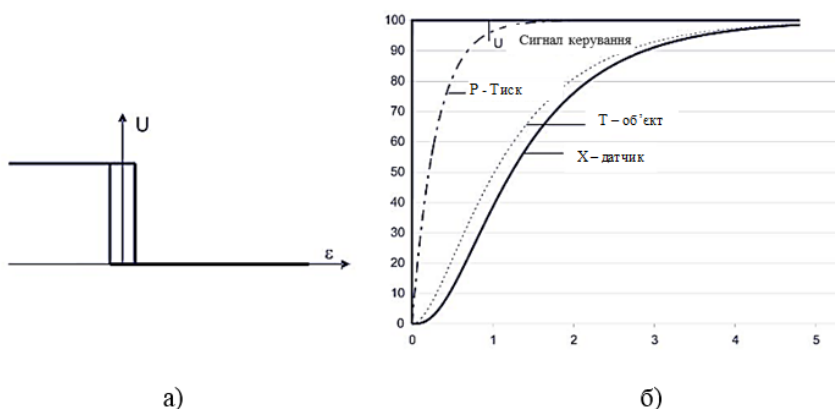
Рис. 2. Структурна схема системи автоматичного регулювання ФММ пакувальної машини для в'язких харчових продуктів

На вхід регулятора надходить сигнал неузгодженості  $\varepsilon$  — різниця між вимірним сигналом  $X$  і заданим рівнем  $W$  (встановленим значенням). Завдання регулятора полягає в керуванні виконавчим пристроєм так, щоб сигнал неузгодженості звести до нуля при наявності збурень. Вважаємо, що регулятор відділений від об'єкта регулювання виконавчим пристроєм і датчиком. Незважаючи на те, що вони входять до

складу системи управління, регулятор «не задає» сигнали  $V$  і  $T$ , безпосередньо пов'язані з об'єктом. Завдання регулятора керувати не тільки одним об'єктом, а цілою системою з трьох елементів: виконавчим пристроєм, об'єктом, датчиком. Це ускладнює управління і знижує його якість. Для пневматичних ерліфтних систем, робота яких безпосередньо пов'язана із витратами стисненого повітря і робочого технологічного середовища, система точного керування напряму пов'язана із продуктивністю окремого ФММ, контролюванням дози продукту та роботи всієї пакувальної машини. Регулятори характеризуються залежністю сигналу керування  $U(t)$  від неузгодженості ( $t$ ):

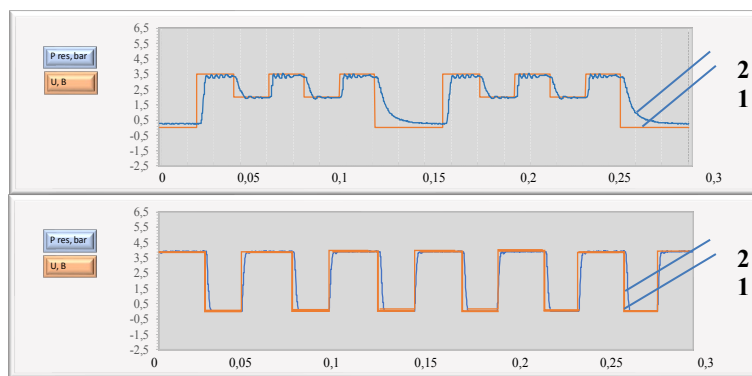
$$U(t) = F\{\varepsilon(t)\}. \quad (1)$$

У загальному випадку функція  $F\{\varepsilon(t)\}$  нелінійна інтегро-диференціальна, тобто досить складна. Цільова функція регулятора — звести неузгодженість  $\varepsilon$  до нуля при наявності факторів збурення. В разі використання керуючою системою ФММ позиційного регулятора функція керування буде ступінчастою (рис. 3).



**Рис. 3. Загальний вид керуючого впливу на об'єкт керування ФММ пакувальної машини:** а) ступінчаста функція;  
б) приклад керуючого впливу регулятора на технологічний параметр

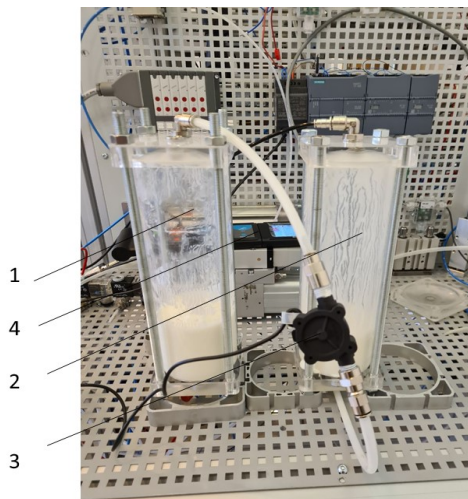
Узагальнена характеристика роботи ФММ, досліджена експериментально за синусоїдальним законом подачі продукту, наведена на рис. 4.



**Рис. 4. Узагальнена характеристика роботи ФММ (діаметр трубопроводу — 0,006 м, робочий тиск — 4 бари, амплітуда коливань тиску — 4 бари; частота змінюється у межах 18...21Гц):** 1 — керуючий сигнал від пропорційного регулятора тиску; 2 — зміна тиску в ємкості-живильнику

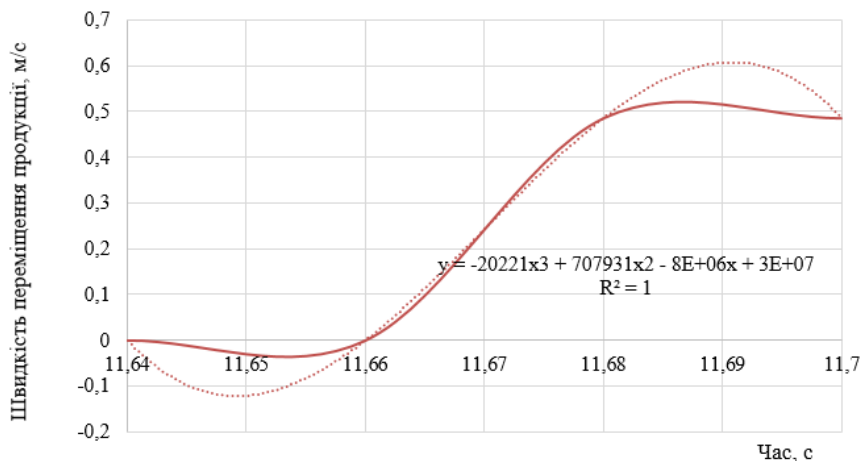
Для здійснення комплексу експериментальних досліджень було розроблено та сконструйовано лабораторну установку (рис. 5). Безпосередньо під час проведення досліджень виконано ряд експериментів щодо дослідження параметрів динаміки руху в'язких харчових продуктів у системі з'єднаних ресиверів.

Подача продукту була організована за допомогою ерліфтної системи, тобто під дією стисненого повітря. Контроль величини дози здійснювався за допомогою витратоміра 3. За його ж показами контролювався процес недопускання краплеформування за рахунок створення протитиску в трубопроводі подачі продукту.



**Рис. 5.** Загальний вид експериментальної установки для дозування кефіру: 1 — ресивер подачі продукту; 2 — ресивер контролю дози; 3 — витратомір; 4 — контрольно-вимірювальний блок із датчиками тиску

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень одержано характеристики процесу обробки в'язкого харчового продукту у запропонованій системі ФММ (рис. 6—8).



**Рис. 6.** Характер зміни швидкості переміщення продукції у фасувальному патрубку в процесі дозування

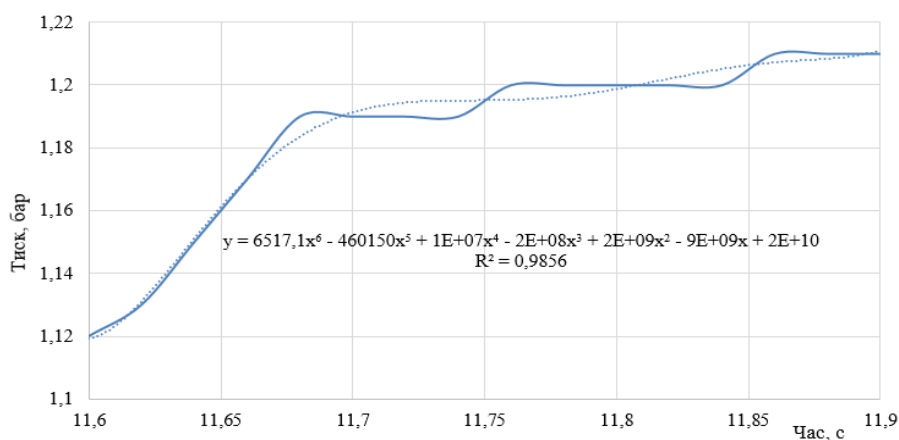


Рис. 7. Характер зміни тиску в ресивері-живильнику в процесі дозування

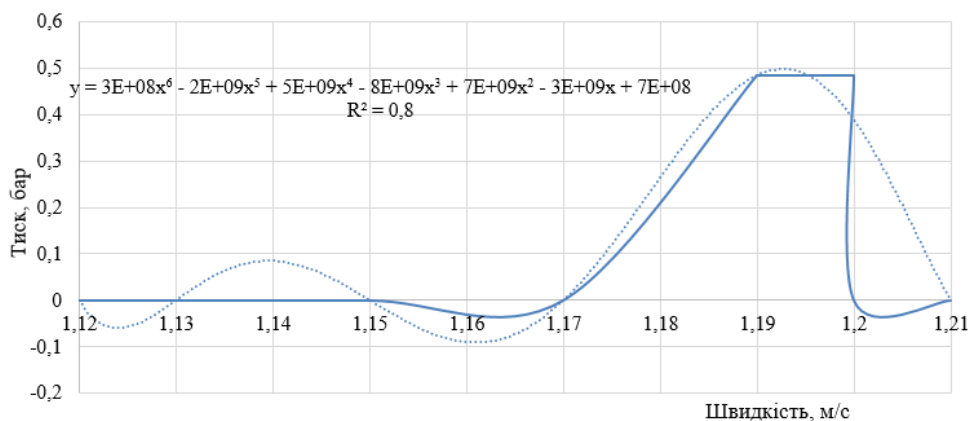


Рис. 8. Характер залежності швидкості потоку продукту від зміни тиску під час процесу дозування

Повторюваність під час зміни часового проміжку дозування зберігалась, що свідчить про можливість формування однакового об'єму дози протягом заданого часу технологічної операції (рис. 9).

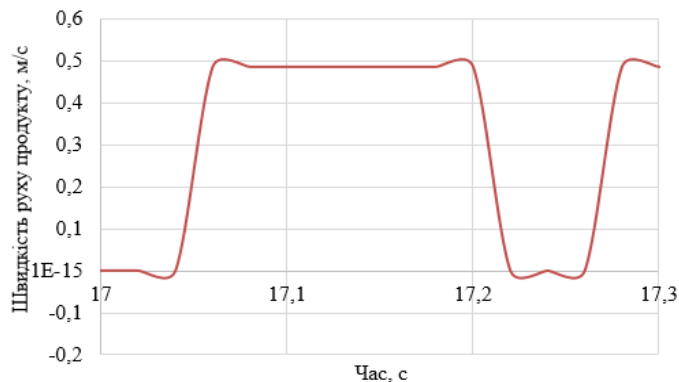


Рис. 9. Характер зміни швидкості продукції у мережі подачі в процесі дозування

Наявність на рис. 9 ділянок, на яких крива знаходиться нижче нульової лінії, характеризує моменти, коли процес дозування закінчився і за рахунок створення протитиску (розрідження) в мережі подачі продукту не допускається виникнення явища прокапування продукції. Рух продукту продовжуватиметься при дотриманні умови:

$$\rho gH > P + (\rho v^2)/2 \cong 2P, \quad (2)$$

де  $\rho$  — густина продукції,  $\text{кг/м}^3$ ;

$H$  — плинне положення рівня продукту в живильнику, яке контролюється датчиком рівня (м).

$P$  — величина тиску в ресивері-живильнику, Па;

$v$  — швидкість переміщення продукції,  $\text{м/с}$ ,  $v = \int_0^t Q(t)dt$ .

Процес дозування реалізується без використання запірної арматури та приводних систем і забезпечується електропневматичною системою автоматичного керування.

Авторами статті досліджувалась можливість реалізації двопозиційного або пропорційного закону регулювання за відповідним алгоритмом і передбачалась можливість автоматичної стабілізації тиску  $P$ , відповідно, на заданому постійному рівні із гістерезисом  $\Delta P = |P_1 - P_2|$ , де  $P_1, P_2$  — значення заданого та реального тиску в живильнику, Па.

Отримана нерівність (2) описує умову достовірності величини гідростатичного напору  $\rho gH$ , що діє в системі, та впливає із рівняння Бернуллі для перерізу, який збігається із поверхнею рідини в живильнику та вихідним перерізом насадки фасування. Нерівність підтверджує, що розроблена система автоматичного дозування за пропорційним законом можлива лише для невеликих значень відхилення  $\Delta P < \rho gH/2$ . За умови, коли  $\Delta P$  має більші значення, запірний елемент на виході патрубків фасувального модуля повністю відкрито, дозатор працює в режимі безперервного дозування із максимальною (для гідростатичного напору, що діє в системі) продуктивністю.

**Висновки.** Запропоноване конструктивне виконання ФММ дозування в'язких продуктів, якщо порівняти із «класичною» схемою поршневого об'ємного дозування, надає можливість реалізувати струменеву подачу продукту, гарантує високу точність дозування та забезпечує ряд переваг, таких як зручність монтажу дозувально-фасувального модуля та приєднання трубопроводів за рахунок системи цангових втулок, можливість зміни компоновки в разі введення додаткових контрольно-вимірювальних елементів; зменшення матеріаломісткості та енергоспоживання за рахунок відсутності пневмоприводної системи та запірної арматури.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Функціонально-модульне компонування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. — К.: Сталь, 2015. — 547 с.
2. Пакувальне обладнання: підруч. / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. — Київ: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 744 с.
3. Патент 139487, МПК В65В 1/06 (2006.01) Мехатронний функціональний модуль дозування / Гавва О. М., Токарчук С. В., Кривопляс-Володіна Л. О.; Деренівська А. В., Гнатів Т. Т.; заявник Національний університет харчових технологій. — № u2019060494; заявл. 31.05.2019; опубл. 10.01.2020; бюл. № 1/2020.
4. Каталог фірми Camozzi. — Електронний ресурс. — Режим доступу: <https://www.camozzi.ua/catalog>.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА В ДОЗОВОЧНОМ МЕХАТРОННОМ МОДУЛЕ**

**С. В. Токарчук, Л. А. Кривопляс-Володина, Г. Р. Валиулин**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Задача усовершенствования и развития машин и их элементов является актуальной на любом этапе их жизненного цикла. В статье представлено исследование параметров работы функционального мехатронного модуля дозирования вязкой продукции, работа которого основана на основе эрлифтного объемного способа формирования дозы и использования электропневматической системы автоматического управления. Предложенное выполнение функционального мехатронного модуля может быть использовано для широкого ассортимента вязких пищевых продуктов с обеспечением высоких показателей качества процесса дозирования.*

**Ключевые слова:** *упаковка, дозировка, функциональный мехатронный модуль, вязкие продукты, машина.*

УДК 663.1:664

# LOGISTICS FOOD PRODUCTION FLOWS

**M. Khwasta, V. Piddubnyi, O. Stepanets, Y. Stupak***National University of Food Technologies***Key words:**

logistics,  
transport and technological  
systems,  
material flow,  
energy flow,  
potential,  
transformation,  
information

**Article history:**

Received 30.08.2021

Received in revised form  
12.09.2021

Accepted 28.09.2021

**Corresponding author:**

uraketa@ukr.net

**ABSTRACT**

The article describes a generalization regarding the view of transport and technological systems of food production as logistics structures. At the same time, the main characteristics and indicators of systems are determined by technological requirements, features of incoming raw materials flows and their subsequent transformations in the form of semi-products, finished products, packages, group packages, enlarged cargo units, etc. The logistics of such transformations are associated with energy and information support, the presence of process sets, dynamic influences with the search for optimal ratios of external influences, which are accompanied by maximum outputs of final products with extreme energy potentials. Views on such dynamic systems in continuous transformation modes bring them closer to the levels of logistical assessment, which is considered as multilevel. The article proposes to apply macro-assessment to the system as a whole, and to assess the course of individual operations at micro-levels, taking into account that the creation of logistically arranged systems requires a unified approach to different levels of their hierarchy.

The main external factor of the transport and technological system is its productivity. The article provides information on comparing approaches in the choice of materials and forms of packaging for beverages based on PET containers and metal cans. This choice concerns material, energy, operating and economic costs. Attention is paid to the peculiarities of interaction of material and energy flows and their logistic assessment should be focused on the requirement to minimize energy costs.

The article notes that the implementation of the direction of increasing the productivity of transport and technological systems of food production requires improvement of all parts of material and energy flows and information support of their interactions. From this point of view, it should be noted the importance of the initial basis in the form of intellectual support for the development of the latest technology and capabilities (in the accuracy class) of the material base for its manufacture. An important component in the logistic evaluation of the created equipment is the experience of designers, which should extend to the dynamics of transition processes and the modern theory of machine dynamics with the created new section called "Mechatronics".

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-16



## ЛОГІСТИКА ПОТОКІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

**М. М. Хваста, канд. техн. наук**

**В. А. Піддубний, д-р техн. наук**

**О. І. Степанець, канд. техн. наук**

**Ю. О. Ступак**

*Національний університет харчових технологій*

*У статті наведено узагальнення, що стосується погляду на транспортно-технологічні системи харчових виробництв як на логістичні структури. При цьому основні характеристики і показники систем визначаються технологічними вимогами, особливостями вхідних матеріальних сировинних потоків та їх наступних трансформацій у формі напівпродуктів, готової продукції, упаковок, групових упаковок, збільшених вантажних одиниць тощо.*

*Відмічено, що реалізація напрямку підвищення продуктивності транспортно-технологічних систем харчових виробництв потребує удосконалення всіх ланок матеріальних і енергетичних потоків та інформаційного забезпечення їх взаємодій. З цієї точки зору слід відмітити значимість первісного підґрунтя у формі інтелектуального забезпечення розробок новітньої техніки і можливостей (за класом точності) матеріальної бази для її виготовлення. Важливою складовою у логістичній оцінці створюваної техніки є досвід проєктантів, який має поширюватися на динаміку перехідних процесів і сучасну теорію динаміки машин зі створенням новим розділом з назвою «Мехатроніка».*

**Ключові слова:** логістика, транспортно-технологічні системи, матеріальний потік, енергетичний потік, потенціал, трансформація, інформація.

**Постановка проблеми.** Узагальнення сучасних уявлень про структуру більшості виробництв харчової промисловості приводить до висновку щодо їх форми у вигляді транспортно-технологічних систем (ТТС). Останні характеризуються наявністю матеріальних енергетичних потоків, які пов'язуються інформаційними зв'язками в рамках певних алгоритмів. Вхідні матеріальні потоки харчових виробництв одночасно є носіями енергетичних ресурсів у вигляді органічних з'єднань, фізичні, хімічні або біофізичні трансформації яких у значній кількості випадків супроводжуються екзотермічними реакціями [1—3]. Оцінка рівнів енергетичних перетворень має теоретичний і практичний інтерес, оскільки вона стосується збереження як матеріальних, так і енергетичних ресурсів. До числа завдань технологій харчових виробництв відноситься максимальне збереження енергетичної цінності вхідних матеріальних сировинних потоків. На важливість і доцільність обмеження питомих енергетичних витрат вказують порівняльні оцінки, за якими Україна є «лідером» нерационального споживання енергоресурсів з показником 0,8 кг умовного палива на 1 дол. США ВВП. В Польщі цей показник наближений до 0,34, в Угорщині — до 0,3, в Німеччині — до 0,27, у Великій Британії — до 0,23.

Узгодженість усіх ділянок, пов'язаних з біологічним синтезом сировини, організацією процесів транспортування сировинних потоків, збереженням і подальшою переробкою, фасуванням продукції з подальшим створенням групових упаковок і збільшених вантажних одиниць з них тощо відповідає логістичним принципам створення складних систем.

Зниження питомих матеріальних і енергетичних витрат, пов'язаних з транспортуванням і трансформаціями матеріальних потоків у харчових технологіях, підвищення конкурентоспроможності продукції й обмеження у використанні первинних

енергоносіїв складають актуальність дослідження в рамках одного з важливих напрямків у формі логістичних підходів в організації взаємодій виробничих потоків. Аналіз сучасного стану в забезпеченні структури транспортних і технологічних операцій вказує на існування резервів, використання яких вплине на результати їх перебігу.

**Мета статті:** дослідити логістичні особливості взаємодій матеріальних, енергетичних і трансформаційних потоків харчових виробництв з формулюванням пропозицій щодо їх удосконалення.

**Матеріали і методи.** В основу аналізу систем, що складаються з матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків покладено феноменологічні узагальнення, що стосуються структури, динаміки і результатів взаємодій на макро- і мікрорівнях. Наслідком такого узагальнення є оцінка перспектив застосування положень логістики в прикладанні до потреб інтенсивного і якісного перебігу процесів із застосуванням сучасних технологій дискретно-імпульсних впливів, перехідних процесів з генеруванням силових впливів, фазових переходів, енергетичною рекуперацією на основі внутрішніх потенціалів систем.

**Результати дослідження.** Побудова більшості переробних підприємств організована як сукупність матеріальних і енергетичних потоків, взаємодія між якими здійснюється за рахунок систем контролю і керування, що за максимальних можливостей перетворюються на третій паралельний потік. Надалі будемо називати його інформаційним і таким, що знаходиться з першими двома у безперервній взаємодії протягом усього виробничого циклу [1—3].

Вхідні сировинні потоки часто мають сезонний або недетермінований характер, результатом чого є необхідність влаштування спеціальних складів, приймальних бункерів, силосів, кагатних площ тощо.

Завдяки наявності накопичувальних структур, як першої ділянки виробництва, виникає можливість сформувати детерміновані потоки сировини і причетні до них інші матеріальні потоки завдяки їх взаємодії з енергетичними потоками. Власне від цього моменту починається діяльність транспортно-технологічної системи, яка відноситься безпосередньо до виробництва. Завершальним етапом останньої є підготовка технологічної продукції до відправки споживачам і її складування.

Відвантаження продукції може бути організований цілком детермінований процес, однак це потребує високого рівня синхронізації роботи з транспортними організаціями, розгалуженою системою реалізації продукції, чіткістю роботи транспортно-технологічної системи виробництва тощо.

Важливим додатковим елементом впливу на матеріальні потоки слід вважати їх фінансове супроводження, яке повноправно може бути оцінене як четвертий потік.

Таким чином, у загальній оцінці всієї системи умовно виділимо три частини. Першу з них віднесемо до структури, що забезпечує існування і підтримку вхідних матеріальних та енергетичних потоків. Другою частиною будемо вважати безпосередньо транспортно-технологічну систему виробництва. До третьої частини віднесемо структуру вихідного матеріального потоку разом з його транспортним та енергетичним забезпеченням товарного руху до мережі реалізації продукції. На рис. 1 наведено структурну схему, яка без претензії на повну досконалість відображає вказані взаємозв'язки.

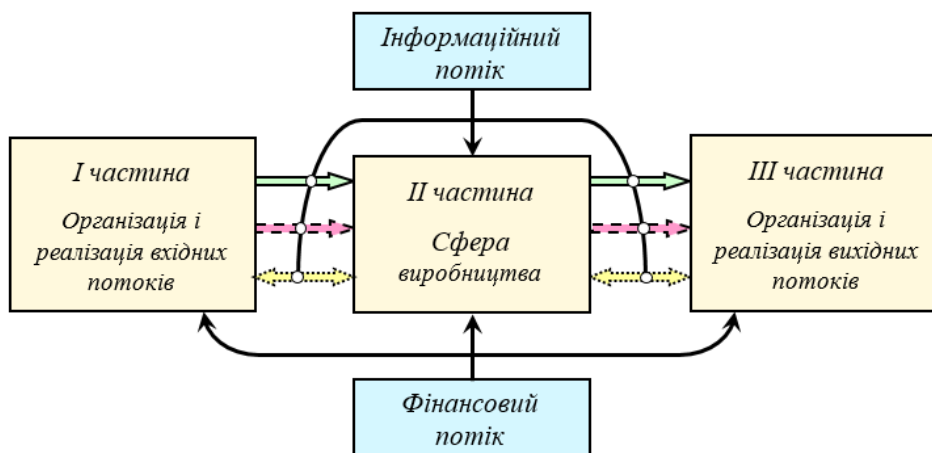


Рис. 1. Схема структури системи і потоків у забезпеченні її діяльності:

→ матеріальні потоки; → енергетичні потоки; → інформаційні потоки

Звичайно, що кінцевою метою дослідження системи є її матеріалопровідність у трьох названих частинах, а також фізико-хімічні трансформації сукупності матеріальних і енергетичних потоків на ділянках транспортно-технологічної системи виробництва у другій частині.

Критерієм існування системи є мінімізовані матеріальні, енергетичні витрати та витрати трудових ресурсів. Очевидно, що при цьому величини матеріальних потоків повинні бути максимально досяжні.

Вказані вимоги щодо існування системи з сучасної точки зору цілком вкладаються в рамки логістики, яка у первинній постановці включає в себе управління транспортом, складським господарством, запасами сировини і товарів, кадрами, інформаційними системами, комерційною діяльністю тощо. Принциповим у логістичному підході є органічний, керований взаємозв'язок між названими потоками і перетворення системи в цілісну матеріалопровідну систему. Саме тому мету логістичного підходу слід визначити як наскрізне управління матеріальними потоками.

Коло проблем, що стосуються логістики існування названих систем, визначаються як управління різними джерелами на рівні матеріальних, речовинних, енергетичних, фінансових, людських. Тому на об'єкт логістики можуть існувати точки зору маркетолога, фінансиста, менеджера, вченого.

Аналіз літературних джерел дозволяє відмітити такі напрямки у розвитку логістики:

1. Нові напрямки в організації руху вантажів.
2. Теорія планування у використанні різних джерел у суспільно-машинних системах.
3. Сукупність різних видів діяльності з метою отримання необхідної кількості вантажів у потрібному місці і в зазначений час з мінімальними витратами.
4. Інтеграція перевізного і виробничого процесів.
5. Процес планування витрат на переміщення і збереження вантажів на ділянці від виробника до споживача.
6. Інфраструктура економіки.

7. Ефективне керування потоками продукції від місця виробництва до споживача.

8. Новий науковий напрямок, пов'язаний з розробкою раціональних методів управління матеріальними, енергетичними та інформаційними потоками.

9. Наука про раціональну організацію виробництва і розподіл товарів.

Існує кілька визначень логістики, що вказує на її розвиток і формування, як нової науки. Окрім того, логістика має значну кількість розділів, про що свідчать її функції (рис. 2).



Рис. 2. Функції логістики

До числа функцій логістики у розділі «Виробництво» віднесено те, що відноситься до другої частини у складі запропонованої структури системи (рис. 1) і стосується позицій «Розміщення виробництва», «Проектування виробництва», «Проектування складського господарства», «Виробничий дизайн», «Режими виробництва». До функцій маркетингу (рис. 2) потрапило «Пакування», хоча ця позиція також повинна відноситися до другої частини системи, оскільки цей процес є важливою складовою транспортно-технологічної системи виробництва.

Існування і функціонування кожної з трьох частин системи, очевидно, знаходиться у тісній залежності з рівнем синхронізації матеріальних потоків. Послаблення взаємних впливів і навіть їх повна ліквідація на деяких проміжках часу досягаються саме за рахунок складів вхідного сировинного потоку і вихідного потоку готової продукції. При цьому склади виконують роль накопичувачів, які формують гнучкі зв'язки між частинами.

Збільшення місткості складів підвищує рівень гнучкості зв'язків і навпаки. Проте одночасно зростають капітальні й експлуатаційні витрати, що в кожному окремому випадку означає необхідність пошуку оптимальних співвідношень між

місткістю складів, номінальними рівнями матеріальних потоків, їх рівномірністю, частотою і подовженням відмов транспортного або технологічного обладнання тощо.

Складське господарство, як бачимо, наявне у функціях маркетингу і логістики, що слід вважати слушним у зв'язку з можливістю використання проміжних баз і складів на підприємствах з реалізації продукції.

Транспортно-технологічні системи харчових виробництв у сучасному їх виконанні практично відповідають закономірностям логістики. Так, у термінологічному словнику з логістики наведено таке визначення: логістика (logistics) — наука про планування, контроль та управління транспортуванням, складуванням та іншими матеріальними операціями, які здійснюються в процесі доведення сировини до виробничого підприємства, внутрішньозаводської переробки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, доведення готової продукції до споживача відповідно з інтересами та вимогами останнього, а також передавання, збереження й опрацювання відповідної інформації [4].

Загалом, логістика поєднує в собі можливості технології, техніки і математики, а вінцем у цьому поєднанні виступає економіка. Саме остання визначає можливість існування підприємств, їх конкурентоспроможність, перспективи розвитку й удосконалення.

Пошук нових технологічних рішень, удосконалення обладнання, використання новітніх підходів в інтенсифікації процесів тепло- і масообміну, поглиблення рівня утилізації матеріальних потоків, використання вторинних енергетичних ресурсів, рекуперація матеріальних і енергетичних потоків, використання енергетичних концентраторів, накопичувачів теплової енергії, економічних режимів роботи холодильних установок, теплових насосів відносяться до заходів, які мають привести до зниження питомих матеріальних, енергетичних і економічних витрат, а отже, до нових можливостей удосконалення виробництва і його економічної бази.

Первинним аргументом при цьому можливо вважати феноменологічні міркування, які виступають у ролі інтелектуального додатка в інформаційних потоках на користь розвитку логістичної науки.

Визнаючи успіхи логістичної науки щодо систем виробництва і реалізації продуктів харчування, разом з тим слід відмітити важливий недолік, пов'язаний з відсутністю безпосереднього зворотного зв'язку в частині, що стосується утилізації використаної упаковки. Навіть у країнах, які вважаються лідерами у таких питаннях, далеко не стовідсотковими на користь утилізації є застосовувані технології.

Різноманіття в асортименті товарів і виробів харчової промисловості привело до розробки і використання значної кількості технологічних схем пакування. Проте аналіз приводить до висновку про наявність в них операцій, однакових за змістом і машинним забезпеченням. До числа останніх відносяться:

- подавання і попередня орієнтація виробів;
- формування структурних складових групової упаковки (ряд, шар, стопа, штабель, пакет);
- подавання вихідних елементів, формування і позиціонування транспортної тари або обгорткового матеріалу;
- захоплення, переміщення і укладання виробів у транспортну тару або скріплення обгортковим матеріалом;
- переорієнтування і виведення транспортної тари або групової упаковки з технологічної машини;

- оформлення групової упаковки.

Навіть такий узагальнений перелік операцій вказує на доцільність логістичного підходу в питаннях визначення структури та синтезу технологічної машини для їх виконання. Окремі операції потребують певного часу на їх виконання, а тому при необхідності їх можливо виконувати в певній послідовності або в паралельних матеріальних потоках. У зв'язку з цим технологічні процеси умовно поділяють на два підходи: перший з них побудований на принципі диференціального поділу операцій; другий — за основу має концентрацію операцій.

При цьому під диференціацією операцій розуміють поділ процесу на складові, які виконуються на кількох пристроях чи машинах. За такого підходу виникає можливість створення спеціалізованих машин, механізмів і пристроїв на основі модульних принципів. Наслідком обрання такої технології є збільшення виробничої площі і кількості обслуговуючого персоналу, на противагу яким досягається більша надійність в роботі як окремої машини, так і системи в цілому.

Інтегральні підходи, пов'язані з концентрацією робочих органів в одній машині і навіть для роботи в одній позиції, з числом позицій. Вони супроводжуються зменшенням робочих площ за заданої продуктивності, кількості обслуговуючого персоналу, але одночасно ускладнюють конструкцію машини, зменшують її надійність у роботі, потребують більш жорстких вимог щодо забезпечення синхронізації у виконанні операцій робочими органами, підсилюють вимоги до систем керування тощо.

Аналіз структури технологічних машин для створення групових упаковок приводить до висновку про необхідність логістичних підходів в оцінці перспектив їх застосування в системах матеріальних потоків виробництва. Паралельно з цим необхідно здійснити елементи аналізу енергетичних потоків цієї частини системи. Стосовно систем енергозабезпечення має значення тип двигунів (електричні, пневматичні, гідравлічні), їх кількість, забезпечення синхронізації, необхідність трансформації електроенергії в теплову, рівень наближення до номінальних завантажень зв'язків між складовими транспортно-технологічної системи виробництва потребує передбачення діапазону змінної продуктивності машин-автоматів і пропускної здатності складових транспортної системи. Це означає необхідність варіювання кінематичними параметрами як робочих виконавчих органів, так і приводів. Очевидно, що визначення потужності двигунів повинно здійснюватися для умов найбільших навантажень, яким відповідають максимальні кінематичні параметри. Це означає, що в межах значного інтервалу часу електричні двигуни будуть недозавантажені до номінальних значень. У зв'язку з цим діапазон варіацій доцільно узгоджувати з прогнозом втрат реактивної потужності або передбачати відповідні заходи щодо обмеження таких енергетичних втрат. Рівень раціональності у побудові технологічної машини з енергетичної точки зору пов'язаний із законами руху ланок передавально-перетворювального механізму і робочих ланок.

Наступним кроком у розвитку пивобезалкогольної галузі була розробка і становлення технологій виробництва пляшок із поліетилентерафталата (ПЕТ) та полікарбонатів. Вона супроводжувалася ліквідацією матеріальних потоків від склозаводів до пивоварних заводів і заводів безалкогольних напоїв, зникненням значної кількості операцій (формування групових упаковок, збільшених вантажних одиниць, навантажувально-розвантажувальні роботи, розформування пакет-піддонів, передавання упаковок в транспортну систему виробництва).

Окрім того, до числа переваг ПЕТ-пляшок відносяться їх міцність, обмежена маса, значні можливості в оформленні дизайну.

Важливою особливістю ПЕТ-технологій є та обставина, що виготовлення пляшок здійснюється видуванням з преформ на обладнанні, яким доповнюється транспортно-технологічна система. Звичайно видувна машина у своєму складі має дві каруселі, в яких переміщуються преформи. При цьому в нагрівальній каруселі вони рівномірно нагріваються, а у видувній каруселі преформи перетворюються в пляшки заданої форми.

На каруселі нагрівання матеріальний потік преформ входить у взаємодію з енергетичним потоком, який представлено інфрачервоними нагрівальними елементами. При цьому забезпечується не лише транспортування преформ разом з каруселлю, а й одночасне їх обертання навколо власних осей для досягнення рівномірного прогрівання.

У повному циклі на видувній машині здійснюється 10 операцій.

Підготовка преформ:

- 1) подавання і контроль;
- 2) поворот у завантажувальній зірочці;

Нагрівання і вирівнювання:

- 3) нагрівання;

- 4) взаємодія із зірочкою для розвантажування, вертикального і розподільчого зсуву;

Стадія додаткових операцій I:

- 5) форма для денця піднімається, видувна форма закривається і фіксується;

Основний процес видування:

- 6) розтягування і початкове видування;
- 7) видування форми, відведення штанги, охолодження;

Стадія додаткових операцій II:

- 8) розблокування, відкривання форми, опускання форми денця;

Виконання операцій з пляшками:

- 9) відбирання пляшок, контроль;

- 10) передавання на пневмоконвеєр.

Таким чином, в операціях № 3 та № 7 має місце взаємодія між матеріальним і енергетичним потоками. Окрім того, на операції № 10 має місце взаємодія основного матеріального потоку пляшок і додаткового матеріально-енергетичного потоку стиснутого повітря для здійснення передавання виробів на пневмоконвеєр.

Операції № 6 і № 7 також супроводжуються взаємодією основного матеріального потоку і потоку повітря, що подається під тиском до 40 бар.

За відомої продуктивності видувної машини 30 тис. виробів за годину виконаємо оцінку величини енергетичного потоку, пов'язаного з видуванням. При цьому вважатимемо, що об'єм утворюваної пляшки складає 1 л.

Це означає, що через цю операцію за 1 год пройде  $30 \text{ м}^3$  повітря, стиснутого до 40 бар, а енергетичні теоретичні витрати при цьому складуть:

$$E = PV = 4 \cdot 10^6 \cdot 30 = 120 \cdot 10^6 \text{ Дж.} \quad (1)$$

Теоретична потужність повітряного компресора (без урахування коефіцієнта корисної дії) при цьому становитиме:

$$N = \frac{E}{3600} = 33,3 \text{ кВт.} \quad (2)$$

З урахуванням ККД повітряного компресора, який за вказаного кінцевого тиску 40 бар складатиме значення  $\eta \approx 0,5$ , реальна потужність збільшиться вдвічі, що становить порівняно високе значення, особливо в сукупності з енерговитратами на розігрівання преформ.

Металеві банки останнім часом розповсюдилися на різні види напоїв. Це стосується пива, енергетичних, спортивних напоїв, льодяного чаю в межах місткості від 0,25 до 1 л. Зростаюча популярність продукції в банках ґрунтується на таких перевагах:

- банки не б'ються;
- за своєю масою (кілька грамів) банки суттєво менші за скляні упаковки такої ж місткості;
- відносно легко вирішується проблема утилізації використаної упаковки;
- відносно просто створюються групові упаковки (наприклад, на основі використання термоусадкової плівки);
- банки легко штабелюються;
- банки легко відкриваються без додаткових засобів;
- банки світлонепроникні, вони є надзвичайно вдалимими рекламоносіями;
- банки з продукцією легко пастеризуються.

Для їх виготовлення використовують сталевий або алюмінієвий лист (для корпусів), а для кришок у більшості випадків — алюмінієвий. Технологія виготовлення банок однакова і стосується глибокої витяжки або витяжки зі зменшення товщини. Відмінністю глибокої витяжки є те, що зміна форми відбувається за збереження товщини матеріалу, тоді як у другому випадку товщина зменшується.

За таких умов банки зберігають стабільність форми завдяки внутрішньому тиску, а за фасування «тихих» напоїв внутрішній тиск створюється примусово шляхом додавання інертного газу (наприклад, однієї краплі зрідженого азоту). Внутрішня поверхня банок покрита хімічно інертним лаком.

Побудова технологічних процесів з використанням банок як споживчих упаковок пов'язана з необхідністю формування їх у збільшені вантажні одиниці. Проте збільшеними вони будуть за габаритами, а не за масовими показниками. Скріплення пакетів, сформованих на основі групових упаковок, здійснюється за рахунок використання розтягнутої або термоусадкової плівки.

Вибір на користь «баночних» технологій супроводжується необхідністю організації дискретних матеріальних потоків на основі авто- або залізничного транспорту. При цьому рівень нерівномірності вказаного потоку залежить від місткості транспортних одиниць і пропускної здатності транспортно-технологічної системи виробництва. Співвідношення цих характеристик визначає місткість складів, в які передаються пакет-піддони, а також параметри і кількість задіяних на операціях розвантажування і складування одиниць відповідної техніки й обслуговуючого персоналу.

**Висновки.** Наукові підходи в оцінці взаємних впливів дискретних масових потоків знайшли своє відображення в теорії масового обслуговування. Математичний опис щодо оцінки взаємних впливів будується на основі теорії ймовірності, однак реалізація аналітичних моделей потребує в конкретних умовах інформації щодо частоти виникнення і подовженості у часі відмов окремих механізмів, вузлів, машин у цілому тощо. Ситуація помітно ускладнюється у зв'язку із взаємними впливами відмов у ланцюгу транспортного й технологічного обладнання.



У загальній оцінці перспектив розвитку транспортно-технологічних систем харчових виробництв явно проглядається тенденція нарощування їх пропускної здатності. Реалізація цього напрямку розвитку потребує удосконалення всіх ланок матеріальних потоків та їх енергетичного забезпечення. Визначаючи як важливу роль організації та взаємодії внутрішніх і зовнішніх потоків, слід відмітити значимість первісного підґрунтя у формі інтелектуального забезпечення розробок новітньої техніки і можливостей (за класом точності) матеріальної бази для її виготовлення.

Сучасний набір пакувальних матеріалів, техніки і технологій фасування і пакування продукції, створення групових упаковок і збільшених вантажних одиниць помітно покращив організацію навантажувально-розвантажувальних, транспортних і складських робіт. Проте до числа недоліків таких систем слід віднести відносно велику частку собівартості продукції за статтею «Упаковка». Це стосується скляної, металевої тари, виробів з поліетилентерафталата, помітних енергетичних витрат за використання термоусадкових плівок, відсутності організованих утилізаційних потоків використаних пакувальних матеріалів тощо. Використання штучно синтезованих пакувальних матеріалів означає вихід за межі природних циклів їх колообігу і необхідність створення відповідних технологій їх утилізації.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Соколенко А. І., Мазаракі А. А., Шевченко О. Ю. та ін. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях. — К.: Фенікс, 2012. — 484 с.
2. Басок Б. И., Пироженов Н. А., Ободович А. Н. и др. Энергосберегающая безотходная технология гомогенизации плодовоовощного и цитрусового сырья. Пром. теплотехника. — 2003. — Т. 25, № 4. — С. 90—93.
3. Ободович А. Н., Грабова Т. Л., Коба А. Р., Герачев О. А. Совершенствование технологии приготовления суслу из крахмалосодержащего сырья в спиртовом производстве с применением метода дискретно-импульсного ввода энергии. Пром. теплотехника. — 2007. — Т. 29, № 4. — С. 59—63.
4. Банько В. Г. Логістика. Навчальний посібник. — К.: КНТ. — 2007. — 332 с.
5. Величко О. М. Теоретичні основи взаємодії інформаційного, енергетичного і матеріального потоків у друкарському контакті. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д.т.н. — Львів: 2006. — 35 с.

## ЛОГИСТИКА ПОТОКОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**М. М. Хваста, В. А. Поддубный, О. И. Степанец, Ю. А. Ступак**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье приведены обобщения, которые касаются взгляда на транспортно-технологические системы пищевых производств как на логистические структуры. При этом основные характеристики и показатели систем определяются технологическими требованиями, особенностями входящих материальных сырьевых потоков и их последующих трансформаций в форме полупродуктов, готовой продукции, упаковок, групповых упаковок, увеличенных грузовых единиц и тому подобное.*

*В выводах статьи отмечено, что реализация направления повышения производительности транспортно-технологических систем пищевых производств требует совершенствования всех звеньев материальных и энергетических потоков и информационного обеспечения их взаимодействий. С этой точки зрения следу-*

ет отметить значимость первоначального основания в форме интеллектуального обеспечения разработок новой техники и возможностей (по классу точности) материальной базы для ее изготовления. Важной составляющей в логистической оценке создаваемой техники есть опыт проектантов, который должен распространяться на динамику переходных процессов и современную теорию динамики машин с созданным новым разделом под названием «Мехатроника».

**Ключевые слова:** логистика, транспортно-технологические системы, материальный поток, энергетический поток, потенциал, трансформация, информация.

УДК 633.002.68:620.9

## ANALYSIS OF METHODS OF OBTAINING ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY

V. Kalita, O. Osmak

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**plant biomass,  
pyrolysis,  
hydrogen,  
biogas**Article history:**

Received 25.03.2021

Received in revised form  
10.04.2021

Accepted 16.05.2021

**Corresponding author:**

ingmex@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The expediency of using biomass of plant origin, as well as municipal waste (solid and liquid), waste from food, agricultural and wood processing enterprises as renewable energy sources has been studied. Technological aspects and chemical processes of transformation of the above-mentioned raw materials into energy are studied.

The mechanism of the process of thermal processing (pyrolysis) of biomass of plant origin with the help of special equipment — pyrolysis boiler (gasifier) is described. The description of the movement of raw materials in the internal space of the boiler under the action of its own weight and the consistent passage of all stages of technological transformation.

Methods of obtaining energy from biomass by anaerobic fermentation have been studied. The advantages and disadvantages of the process of decomposition of complex organic substances obtained without the access of air — biogas obtained by the course of the microbiological process are given.

The method of obtaining energy from biomass is alcohol anaerobic fermentation. The end product of this process is the production of ethanol (ethyl alcohol)  $C_2H_5OH$ . The advantages and disadvantages of different methods of obtaining ethanol.

A special place of hydrogen as an energy source is described. The study of the peculiarities of chemical processes of obtaining energy from hydrogen. The advantages and disadvantages of different methods of obtaining energy from hydrogen are considered. Also, a variant of a hybrid method of splitting water molecules, based on the sequential processes of different physicochemical nature.

Prospects for the use of geothermal energy or other thermal energy of the earth's crust are considered. Hydrothermal georesources are not only a source of thermal energy, but can also be a raw material base for chemical enterprises.

It is concluded that unconventional energy on renewable raw materials is more environmentally friendly than traditional. Energy production is either combined with the utilization of waste from other industries, or gives less harmful emissions, or is not accompanied by chemical processes at all.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-17

---

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В. С. Калита,  
О. О. Осьмак

Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено доцільність використання біомаси рослинного походження, а також міських відходів (твердих і рідких), відходів харчових, сільськогосподарських і деревопереробних підприємств як поновлюваних джерел енергії. Описано технологічні аспекти та хімічні процеси перетворення вищевказаної сировини в енергоносії. Доведено перспективність використання водневої та геотермальної енергетики.*

**Ключові слова:** рослинна біомаса, піроліз, водень, біогаз.

**Постановка проблеми.** На сьогодні все більше застосовуються нетрадиційні способи отримання енергії. На відміну від традиційної енергетики, що використовує органічне паливо та забруднює атмосферу викидами та водою скидами, нетрадиційна енергетика використовує відновлювані джерела енергії і є порівняно екологічно чистою й нешкідливою для людини і навколишнього природного середовища [1; 2].

**Мета статті:** дослідити технологічні аспекти та хімічні процеси при використанні природних, поновлюваних джерел біомаси, що використовується як енергоносії. Визначити вплив хімічних процесів на навколишнє середовище на етапах перетворення сировини в енергоносії.

**Матеріали і методи.** Первинні та вторинні друковані джерела інформації за обраною тематикою. Аналіз, обробка й узагальнення наукової інформації з теми дослідження.

**Результати дослідження.** Найбільший інтерес в дослідженні хімічних процесів, що відбуваються при отриманні альтернативних джерел енергії, є способи їх отримання.

Енергія біомаси. В основі використання покладено процес фотосинтезу і перетворення біологічної енергії. Необхідною умовою здійснення фотосинтезу є підведення потоку світлового випромінювання (енергії) до рослини, а саме до хлорофілу, який, поглинаючи світло всього видимого спектра сонячного випромінювання, активізується і передає свою енергію воді. Вода в результаті цього виділяє атом водню для реакції з  $\text{CO}_2$ . Реакція проходить за схемою:



Кисень надходить в атмосферу, а утворене вуглеводневе з'єднання  $n (\text{CH}_2\text{O})$ , де  $n$  — число атомів вуглецю в з'єднанні, йде на побудову інших органічних речовин — жирів, білків і вуглеводів, які утворюють органічну речовину біомаси. При окисленні біомаси або продуктів її переробки виділяється теплова енергія, еквівалентна поглиненій нею в процесі фотосинтезу світловій енергії.

Джерелами біомаси також можуть бути міські відходи — тверді й рідкі; відходи харчових, сільськогосподарських і деревопереробних підприємств — залишки процесів переробки органічної сировини, рослинні залишки, відходи тваринництва, інші відходи промисловості, деревина, водорості тощо [3]. Також вагомим, позитивним чинником, виступає сам факт переробки (утилізація) побутових, промислових і сільськогосподарських відходів, їх перетворення в енергоносії [6].

Одним із способів отримання енергії з біомаси є термохімічна обробка (конверсія) останньої. Основу термохімічної конверсії складає процес піролізу, тобто термічний розклад органічної біомаси відходів при їх нагріванні. Процес піролізу здійснюється за допомогою спеціального обладнання — піролізного котла (газифікатора) [7]. Газифікатор — це котел у вигляді вертикальної шахти, як правило, циліндричної форми. Сировина рухається зверху вниз у внутрішньому просторі котла під дією власної ваги і послідовно проходить усі стадії технологічного перетворення: нагрівання і сушіння в зоні I, видалення летючих фракцій побічних продуктів піролізу в II зоні, власне піроліз у III зоні, відновні реакції в IV зоні і накопичення шлаків у нижній V зоні (рис. 1). У III зоні піролізу біосировина розкладається на тверду частину — вуглецевмісна речовина, газ:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_4\text{S}$ ,  $\text{C}_5\text{H}$  і низько- і середньомолекулярні органічні рідини і кислоти [8]. В результаті термохімічної обробки біомаси отримують паливний газ (генераторний газ), рідке і тверде паливо — вуглецевмісна речовина. Загальний енергетичний ККД газифікації біомаси становить від 50 до 70%. Теплотворна здатність генераторного газу становить 800—1200 ккал/м<sup>3</sup>, причому заміна повітря на кисень при його отриманні веде до значного збільшення частки оксиду вуглецю і, відповідно, до збільшення теплотворної здатності [10; 11].

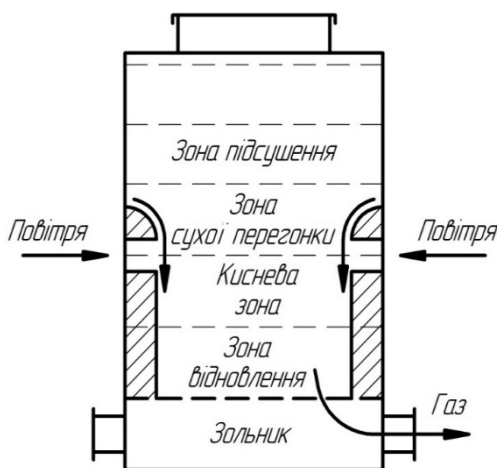


Рис. 1. Схема газогенератора зворотного процесу газифікації

Ще один спосіб отримання енергії з біомаси — анаеробна ферментація. Це мікробіологічний процес розкладання складних органічних речовин без доступу повітря. При ферментації відбувається перетворення вуглеводнів (бродіння) і білків (гниття) в біогаз — суміш метану  $\text{CH}_4$  (до 60...70%), діоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$ , азоту  $\text{N}_2$ , водню  $\text{H}_2$  і кисню  $\text{O}_2$  (разом — 0,4...6%), і утворюється стабілізований осад (перероблена біомаса). Отриманий біогаз має високу питому теплоту згоряння, рівну 17...21 МДж/м<sup>3</sup> і є висококалорійним, зручним для практичного використання паливом, а стабілізований осад — хорошим органічним добривом. У процесі ферментації біомаса втрачає неприємний запах, сухі тверді відходи стають менш привабливими для гризунів, при цьому гине патогенна мікрофлора. Тож при анаеробній ферментації вирішуються і енергетичні, і екологічні питання, зокрема і проблема складування та зберігання відходів [9].

Крім метанової ферментації, відомо також спиртове анаеробне бродіння біомаси. Кінцевим продуктом цього процесу є отримання етанолу (етилового спирту)  $C_2H_5OH$ . Для харчових цілей етанол виробляється з давніх часів. Останнім часом значного поширення набула тенденція використання етанолу як рідкого палива. Існують різні біологічні методи виробництва етанолу. Один з них передбачає спочатку перетворення вуглеводів у глюкозу, а потім, шляхом анаеробної ферментації, перетворення її в етанол; другий, кислотний метод, полягає в тому, що сировину для отримання етанолу — целюлозу, шляхом гідролізу перетворюють у цукор, а останній у результаті анаеробного розкладання трансформується в етанол; третій метод — метод прямого перетворення цукру в етанол.

До переваг використання другого методу слід віднести те, що він базується на використанні для етанолу непридатної сировини — тирси, сільськогосподарських відходів і продуктів низької якості, непридатних для вживання. Але другий і перший методи — двостадійні, технологічно більш складні, також потрібно врахувати той факт, що вміст діючого компонента в проміжному продукті — цукру і глюкози, не завжди високий. З огляду на це перевагу слід віддати третьому методу: він одностадійний, а підвищений вміст цукру у вихідному матеріалі можна забезпечити підбором відповідної сировини.

Воднева енергетика. Серед численних речовин, реакція окислення яких супроводжується виділенням тепла, особливе місце займає водень. Він відповідає численним вимогам, що висуваються до енергоносіїв, оскільки володіє високою питомою теплотою згоряння. Але головна перевага водню полягає в тому, що це екологічно чисте паливо. І сам водень, і утворена при його спалюванні вода нешкідливі ні для людини, ні для навколишнього середовища. Жодні інші продукти при окисленні водню не утворюються, в той час як при окисленні вуглеводнів у число продуктів реакції входять  $CO$  і  $CO_2$ , що забруднюють атмосферу.

Однак у чистому вигляді водень у природі зустрічається в дуже невеликих кількостях. Уся величезна кількість цього елемента перебуває в природних умовах у зв'язаному вигляді — в основному у воді. Щоб виділити водень із води, треба розірвати його валентний зв'язок з атомами кисню виду  $H-O-H$ . Розрив водневих зв'язків можна здійснити як прямими, так і непрямыми методами. У першому випадку до молекул води ззовні підводиться енергія будь-якого виду: теплової, електричної, хімічної, радіаційної. Непрямі методи передбачають багатоступінчате перетворення вихідної речовини за участю допоміжних реагентів.

Термічний спосіб (термоліз) полягає у високотемпературному впливі на воду. Термодинамічні розрахунки показують, що для здійснення термолізу необхідно підтримувати температуру близько  $3500^{\circ}C$ . Вести такий процес у виробничих умовах практично неможливо, тому термічний спосіб представляє лише теоретичний інтерес [5].

Електрохімічний спосіб (електроліз) полягає в розкладанні води електричним струмом. На перший погляд, електрохімічний спосіб отримання водню явно нееконічний. Адже навіть в ідеальному випадку при спалюванні водню можна отримати стільки тепла, скільки електроенергії було витрачено на розкладання води. Але це не зовсім так. По-перше, на видобуток традиційного палива доводиться витрачати чималі кошти, до яких додається вартість очищення димових газів від шкідливих компонентів і золи, тобто ті витрати, які відсутні при спалюванні водню. По-друге, існують такі режими роботи теплових електростанцій, коли вироблена електроенергія виявляється зайвою. Мова йде про роботу електростанцій у нічний час,

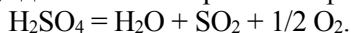
коли споживання електроенергії різко скорочується, а зупиняти електростанцію або істотно знижувати її потужність економічно не вигідно. Тоді надлишок цієї електроенергії доцільно направляти на вироблення водню.

Термохімічні способи полягають у послідовному проведенні декількох хімічних реакцій, одним з кінцевих продуктів яких є водень (табл. 1). Багато-стадійність процесу дуже ускладнює його великомасштабне промислове впровадження. Перевагою є те, що не потрібне підведення енергії і весь процес відбувається при відносно невисоких температурах.

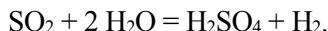
Таблиця 1. Термохімічні способи отримання водню

Термохімічний процес	Оптимальна температура перебігу реакції, °C	Стадії перетворення
$3 \text{ FeCl}_3 = 3 \text{ FeCl}_2 + 3/2 \text{ Cl}_2$	420	I
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3/2 \text{ Cl}_2 + 6 \text{ HCl} = 3 \text{ FeCl}_3 + 3 \text{ H}_2\text{O} + 1/2 \text{ O}_2$	120	
$3 \text{ FeCl}_2 + 4 \text{ H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 6 \text{ HCl} + \text{H}_2$	650	
$\text{LiNO}_3 = \text{LiNO}_2 + 1/2 \text{ O}_2$	473	II
$\text{LiNO}_2 + \text{J}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{LiNO}_3 + 2 \text{ HJ}$	20	
$2 \text{ HJ} = \text{J}_2 + \text{H}_2$	423	

Гібридні методи розщеплення молекул води базуються на послідовному проведенні процесів різної фізико-хімічної природи. Серед таких методів, досить привабливим є двостадійний термо-електрохімічний сірчаноокислотний цикл. На першому етапі, при температурі 850°C, здійснюється термоліз за формулою:



Потім проводиться електроліз:



При цьому витрата електроенергії становить близько 15% від тієї кількості, яка необхідна для електролізу води звичайним способом.

Геотермальна енергія. Геотермальною енергією називають теплову енергію земної кори. Геотермальна енергія виробляється за рахунок радіоактивного розпаду ізотопу калію та інших елементів, таких як Na, Li, Mg, Ca, розсіяних у земній корі. Величина мінералізації термальної води залежить від геологічних та гідрологічних умов родовища і знаходиться в межах від 1 до 6235 грамів на літр. У термальних водах, зазвичай, розчинені гази —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  тощо, іноді в досить великих кількостях [4]. Гідротермальні георесурси є не тільки джерелом теплової енергії, але й можуть бути також сировинною базою гірничо-хімічних підприємств, які виробляють сірку, бром, бор, рідкоземельні елементи та інші речовини, що містяться у воді.

**Висновки.** Підсумовуючи, слід зазначити, що нетрадиційна енергетика на відновлюваній сировині є екологічно чистішою порівняно з традиційною. Виробництво такої енергії або поєднується з утилізацією відходів інших виробництв, або продукує менше шкідливих викидів, або взагалі не супроводжується хімічними процесами.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Нетрадиційні джерела енергії: теорія і практика: монографія / Й. С. Мисак, І. М. Озарків, М. Г. Адамовський та ін.; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Нац. лісотехн. ун-т України. — Л.: НВФ «Укр. технології», 2013. — 356 с.

2. Екологічний моніторинг: альтернативні джерела енергії: навч. посіб. / [В. Г. Сліпченко, О. В. Коваль, Л. Г. Полягушко та ін.]. — Київ: КПІ ім. І. Сікорського: Політехніка, 2019. — 368 с.
3. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії / О. І. Соловей, Ю. Г. Лєга, В. П. Розен та ін. / За заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: Вид. ЧДТУ, 2007.
4. Геотермальна енергетика: виробництво електричної і теплової енергії / А. А. Долінський, А. А. Халатов // Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 11. — С. 76—86.
5. National Academy of Engineering, “The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs” 2004.
6. Гелетука Г. Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г. Г. Гелетука, Т. А. Железна, П. П. Кучерук, Є. М. Олійник // Аналітична записка БАУ. — 2014. — № 9. — С. 32.
7. Kirjavainen M. Small- scale biomass CHP technologies situation in Finland, Denmark and Sweden / M. Kirjavainen, T. Savola. — Espoo, 2004.
8. Шевченко Г. Л. Комплексная технология термической переработки биомассы / Г. Л. Шевченко, Ю. В. Шишко, Е. В. Кремнева // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: збірник наукових праць. — 2010. — Вип. 2. — С. 217—227.
9. Калюжный С. В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод / Катализ в промышленности. — 2004. — № 6. — 42—50 с.
10. Осьмак О. О., Серьогін О. О. Системний підхід до вирішення проблеми газифікації рослинної біомаси / Харчова промисловість, Київ НУХТ — № 10—11, 2011. — С. 302—308.
11. Осьмак О. О., Серьогін О. О. Газогенерація — безвідходна і авто енергетична технологія утилізації промислових відходів Збірник наукових праць / Вінницького національного аграрного університету, Вінниця — випуск 8, 2011. — С. 87—91.

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**В. С. Калита, А. А. Осьмак**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Исследована целесообразность использования биомассы растительного происхождения, а также городских отходов, отходов пищевых, сельскохозяйственных и деревоперерабатывающих предприятий как возобновляемых источников энергии. Описаны технологические аспекты и химические процессы преобразования вышеуказанного сырья в энергоносители. Доведена перспективность использования водородной и геотермальной энергетики.*

**Ключевые слова:** *растительная биомасса, пиролиз, водород, биогаз.*



## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

### *Шановні колеги!*

Редакційна колегія журналу «Харчова промисловість» запрошує вас до публікації наукових праць.

Засновник і видавець журналу: Національний університет харчових технологій.

Журнал затверджений наказом МОН України (постанова № 32 від 15.01.2018) як наукове видання з технічних наук.

У журналі висвітлюються результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Обсяг статей — до 15 машинописних аркушів (до 15000 друкованих знаків).

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті мають бути підготовлені з урахуванням Постанови Президії ВАК України № 7-05/6 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України». Друкуються наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До публікації приймаються не опубліковані раніше статті, що містять результати фундаментальних теоретичних розробок та найзначніших прикладних досліджень викладачів, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів. Усі статті підлягають обов'язковому рецензуванню провідними спеціалістами у відповідній галузі харчових технологій, яких призначає науковий редактор журналу.

Рукопис статті надсилається у двох примірниках, українською мовою, включаючи таблиці, рисунки, список літератури.

Статті подаються у вигляді **вичитаних** роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, шрифт Arial або Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word) на електронному носії. На електронному носії не повинно бути інших версій та інших статей, у тексті статті — порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

На першій сторінці наводяться: у лівому верхньому куті — шифр УДК (напівжирним шрифтом), нижче ініціали і прізвища авторів (напівжирним шрифтом), наукові ступені авторів, назва установи, де працює автор; далі — назва статті великими напівжирними літерами, під назвою — анотація українською мовою з ключовими словами (5—6 слів/ключових словосполучень) набрана світлим курсивом; фраза «**Ключові слова**» — напівжирним шрифтом.

У кінці першої сторінки, під короткою рисою, ставиться знак авторського права, ініціали, прізвища авторів, рік.

Матеріали, представлені у статті, мають бути розділені на основні змістові розділи, такі як: постановка проблеми, огляд літератури, мета досліджень, матеріали та методи, результати досліджень, висновки. Кожен із наведених розділів статті починається з нового абзацу («**Постановка проблеми**», «**Огляд літератури**», «**Мета досліджень**», «**Матеріали і методи**», «**Результати досліджень**», «**Висновки**» — напівжирним курсивом).

Після тексту статті в алфавітному або порядку згадування в тексті наводиться список літературних джерел (кожне джерело з абзацу). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання». 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 роботи останніх років.

Прізвища зарубіжних авторів у тексті статті треба наводити в українській транскрипції.

Після списку літератури наводяться: анотація та ключові слова російською мовою; ініціали і прізвища авторів, назва статті великими напівжирними літерами, анотація та ключові слова (Summary) англійською мовою (розмір анотації не менше 1800 знаків, має містити коротку інформацію по кожному із основних змістових розділів); фрази «**Ключевые слова**» та «**Key words**» — напівжирним шрифтом.

Усі анотації мають містити коротку інформацію щодо об'єкта та методик досліджень з наведенням основних результатів роботи та рекомендаціями щодо сфери їх застосування.

Після тексту анотацій та ключових слів наводиться фраза «Одержана редколегією (дата)» (набраним світлим курсивом). За дату одержання статті вважають дату надходження її до редакції.

Роздрукований варіант статті підписують усі автори.

У разі одержання статті, оформленої з порушенням запропонованих вимог, редакція статтю не реєструє. За необхідності доопрацювання статті відповідно до зауважень рецензента авторам направляється екземпляр рукопису, який разом із рецензією, відповідно рецензентові, двома екземплярами виправленої статті та електронним носієм з виправленим текстом слід повернути до редакції.

Таблиці виконувати у Microsoft Office Word в форматі DOC. Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Якщо таблиця одна, то дається тільки заголовок (без слова «Таблиця»). Слово «Таблиця» і номер — курсивним шрифтом, заголовок — напівжирним. Таблиці мають бути закритими — з боковими, нижньою і горизонтальними лініями у полі таблиці.

Ілюстрації мають бути виконані ретельно, в програмі CorelDraw або будь-якому іншому графічному редакторі, на білому папері й розміщені в тексті та в окремих файлах (формати CDR, TIF, JPG; роздільна здатність не менше 300 dpi).

Фотографії друкуються лише у разі крайньої потреби, вони мають бути чіткими, контрастними, виконаними на білому фотопапері, розмірами 6×9 см.

Підписи до рисунків набираються на окремій сторінці або безпосередньо під рисунками прямим шрифтом.

Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях і на рисунках не допускаються.

Формули вставляються прямо в текст за допомогою редактора формул. Нумерація формул — арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки.

Використовувати в статті фізичні, хімічні, технічні та математичні терміни, одиниці фізичних величин та умовні позначення мають бути загальноприйнятими. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

До статей додаються: виписка з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку; відомості про авторів (прізвище, повне ім'я та по батькові, науковий ступінь, місце роботи, номери контактних телефонів, адреса), кафедральний висновок/експертний висновок (для статей сторонніх організацій), заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань

**Головний редактор журналу: доктор технічних наук, професор**

**Анатолій Іванович Соколенко**

**Відповідальний секретар журналу: кандидат технічних наук, доцент**

**Сергій Володимирович Токарчук**

**Контактні телефони: міський — (044) 287-92-45, внутрішній — 92-45**

**E-mail: [tmipt\\_xp@ukr.net](mailto:tmipt_xp@ukr.net)**

Наукове видання

# ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№ 29

Журнал «Харчова промисловість» затверджений наказом МОН України (постанова № 32 від 15.01.2018) як наукове видання з технічних наук. Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 6890 від 23.01.2003. Засновник і видавець: Національний університет харчових технологій.

Журнал є продовженням міжвідомчого тематичного збірника «Харчова промисловість», заснованого в 1965 р. Виходить двічі на рік.

***Статті друкуються в авторській редакції.***

***Відповідальний редактор журналу:*** А. І. Соколенко

***Відповідальний секретар:*** С. В. Токарчук

Комп'ютерна верстка: Т. В. Соколова

Підп. до друку 25.10.2021 р. Формат 70 × 100/16.

Гарнітура TimesNewRoman. Друк цифровий.

Ум. друк. арк. 11,45. Обл.-вид. арк. 12,32.

Наклад 100 прим. Вид. № 07/16. Зам. № 23-16

НУХТ 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.2004