



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

30

**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: foodpromnuft@gmail.com

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
м. Київ, 01601
(044) 287-92-45, 287-94-21
E-mail: foodpromnuft@gmail.com

Recommended for publication by the
Academic Council of the National University of
Food Technologies.
Minutes of meeting № 6 of
December 23, 2021

Рекомендовано вченою радою
Національного університету харчових
технологій.
Протокол № 6 від 23 грудня 2021 року

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу «Харчова промисловість»

Головний редактор Editor-in-Chief

Олександр Гавва
Oleksandr Gavva

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

Відповідальний секретар Accountable secretary

Анастасія Деренівська
Anastasia Derenivska

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

Члени редакційної колегії:

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

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

Андрій Маринін
Andrii Marynin

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

Василь Кишенько
Vasil Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна
Ph. D., 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

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

Віталій Прибильський
Vitaliy Prybyl's'kyu

д-р техн. 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

Галина Сімахіна
Halyna Simakhina

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

Лариса Арсеньева
Larysa Arsen'yeva

д-р техн. наук, проф., 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

Наталія Гусятинська
Nataliia Husiatynska

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

Оксана Кочубей-Литвиненко
Oksana Kochubei-Lytvynenko

д-р. 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

Олександр Серьогін
Oleksandr Ser'ohin

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

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

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

Олена Білик
Olena Biluk

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

Світлана Літвинчук
Svitlana Litvynchuk

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

Сергій Токарчук
Serhii Tokarchuk

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

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

Тамара Носенко
Tamara Nosenko

д-р техн. наук, доц., 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

Тетяна Пирог
Tetyana Pyroh

д-р біол. 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

Юлія Камбулова
Yuliia Kambulova

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

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ

Сировина та матеріали

Юценко Н. М., Савіцька А. О., Чернова В. Д., Новіков В. В., Плуца В. В. Розробка рецептур та визначення показників якості аюрведичних желейних виробів на основі плодово-ягідної сировини з прянощами

Дорожжінська О. С., Кохан О. О. Зміна якості неглазурованих цукерок кристалічної структури на основі комбінації цукрів лактози та фруктози протягом їх зберігання

Технології: дослідження, застосування та впровадження

Масліков М. О., Масліков М. М., Петренко В. П., Бойко В. О. Визначення впливу відбору соку у дифузійних апаратах на прибутковість бурякоцукрового виробництва

Демидова А. О., Шеманська Є. І. Одоруючі речовини рослинних олій і методи їх вилучення

Бублієнко Н. О., Семенова О. І. Біологічна утилізація бурякового жому з використанням метанової ферментації

Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Олексієнко Н. В., Ворочек Д. В., Шчирська О. С. Удосконалення технології органічної фруктовий пастили функціонального спрямування

Авраменко А. Д., Грабовська О. В. Використання резистентного крохмалю у технології кексів функціонального призначення

Белінська К. О., Фалендиш Н. О. Безпека і мікробіологічна чистота сухого кобилячого та овечого молока для виробництва дитячого харчування

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Процеси харчових виробництв

Гапонюк І. І. Виробничі дослідження камерних апаратів сушіння зерна, виготовлених у США

Туфєкчі В. І., Вересоцький Ю. І. Дослідження верхнього жалюзійного розподілення теплоносія та визначення ефективних параметрів сушіння в комплексах розпилювального типу

Пакування: розробка, дослідження, переробка

Кривопляс-Володіна Л. О., Деренівська А. В., Масло М. А., Володін О. С. Оптимізація робочих режимів позиційного пневмоприводу пакувальної машини

CONTENTS

SECTION 1. TECHNOLOGY

Raw Materials and Materials

7 Yushchenko N., Chernova V., Savitskaya A., Novikov V., Plyuta V. Development of recipes and determination of quality indicators of ayurvedic jelly products on the basis of natural fruit and berry raw materials

18 Dorozhynska O., Kokhan O. Changing the quality of unglazed candies with a crystalline structure based on a combination of lactose and fructose sugars during storage

Technologies: Researches, Application and Introduction

29 Maslikov M., Maslikov M., Petrenko V., Boiko V. Determination of the influence of raw juice draft in extractors on the profitability of beet-sugar production

41 Demydova A., Shemanska Y. Additive substances of vegetable oils and methods for their exposure

50 Bublivenko N., Semenova O. Biological utilization of beet pulp with the use of methane fermentation

58 Kambulova Yu., Kokhan O., Oleksiienko N., Vorochek D., Shchyrska O. Improvement of the technology of organic fruit functional paste

66 Avramenko A., Hrabovska O. Use of resistant starch in functional cake technology

78 Belinska K., Falendysh N. Safety and microbiological purity of powder of may and sheep milk for production of baby nutrition

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

Processes of Food Industries

87 Gaponjuk I. Production research of US-made chamber grain dryers

96 Tufekchi V., Veresotskyi Y. Investigation of the upper louver distribution of the heat carrier and determination of effective parameters of drying in complexes of spray type

Packing: Development, Researches, Processing

110 Kryvoplias-Volodina L., Derenivska A., Maslo N., Volodin O. Optimization of operating modes of positional pneumatic drive of packaging machine

Харкевич А. О., Якимчук М. В., Якимчук Т. С., Якимчук В. М. Створення та дослідження мехатронного модуля для визначення матеріалу пластикових пляшок у лініях вторинної переробки 121 *Kharkevych A., Yakymchuk M., Yakymchuk T., Yakymchuk V.* Creation and research of mechatronic module for determination of material of plastic bottles in lines of secondary processing

УДК 664.856

DEVELOPMENT OF RECIPES AND DETERMINATION OF QUALITY INDICATORS OF AYURVEDIC JELLY PRODUCTS ON THE BASIS OF NATURAL FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS

N. Yushchenko, A. Savitskaya, V. Chernova, , V. Novikov, V. Plyuta
National University of Food Technologies

Key words:

ayurvedic food,
jelly products,
spices,
water activity

Article history:

Received 03.12.2021
Received in revised form
08.12.2021
Accepted 16.12.2021

Corresponding author:

yunm_nuft@ukr.net

ABSTRACT

The recipe composition of new types of jelly products based on fruit and berry raw materials with spices was substantiated, taking into account the recommendations of Ayurvedic science. To increase the dry matter content and provide richness of taste and aroma, the introduction of freeze-dried fruit powders was proposed.

Vata is the most mobile, restless, prone to emotional overload dosha, the best way to balance which is to increase the diet of products with a natural sweet taste. The rational ratio of apple juice, raspberry puree and strawberry powder is determined as 50:30:20. The expediency of using cinnamon (particle size up to 0.2 mm) in the composition of the product for Vata in the amount of 2.0% was substantiated. Pitta is the dosha that encourages transformation, it is inflammatory and energetic, so calming is needed to keep it in balance. Therefore, the jelly product will be based on peppermint extract supplemented with lime juice and kiwi powder sublimated in a ratio of 60:20:20. For inertial, inhibited and heavy Kapha, it is best to use pear juice and strawberry powder in a ratio of 70:20 and spices. The combination of spices for Kapha dosha was developed: allspice:cinnamon:star anise in a ratio of 1:1:0.6 and a rational amount of spice combination of 2.6% was determined. The efficiency of application as a structure-forming component of the combination mixture of agar-agar (1200 units) and locust bean gum in the ratio 7:1 was substantiated. The water activity index was 0.944...0.923, but the structure was quite stable from 29.6 to 46.5 c.u.

The production of such products will expand the range of dessert products based on fruit and berry raw materials without additional sugar, and the introduction of spices will provide original taste and aromatic qualities and will enrich the products with a complex of biologically active compounds.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-3

РОЗРОБКА РЕЦЕПТУР ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АЮРВЕДИЧНИХ ЖЕЛЕЙНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ З ПРЯНОЦАМИ

Н. М. Ющенко, канд. техн. наук

А. О. Савицька

В. Д. Чернова

В. В. Новіков

В. В. Плюта

Національний університет харчових технологій

Обґрунтовано рецептурний склад нових видів аюрведичних желейних виробів на основі плодово-ягідної сировини з прянощами. Визначено раціональне співвідношення свіжовіджатого соку яблук, пюре малини та порошку полуниці на основі рецептури желейного виробу для Вата доші як 50:30:20; екстракту м'яти перцевої, соку лайма та порошку ківі для Пітта доші як 60:20:20; грушевого соку та порошку полуниці для Капха доші як 70:30.

Розроблено комбінацію прянощів для використання у складі рецептури желейного виробу для Капха доші (духмяний перець:кориця:бодян у співвідношенні 1:1:0,6) та визначено раціональну кількість введення комбінації прянощів — 2,6%.

Обґрунтовано доцільність використання кориці (розмір частинок до 0,2 мм) у складі виробу для Вата доші в кількості 2,0%. Доведено ефективність застосування як структуроформуючого компонента комбінаційної суміші агар-агару (1200 ум.од) та камеді ріжкового дерева у співвідношенні 7:1. Стійкість до деформації желейних виробів коливалась від 29,6 до 46,5 ум.од.

Виробництво таких продуктів дасть змогу розширити асортимент желейних виробів на основі плодово-ягідної сировини без додаткового введення цукру, а прянощі нададуть оригінальних смако-ароматичних якостей та збагатять продукти комплексом біологічно активних сполук.

Ключові слова: аюрведичні харчові продукти, желейні вироби, прянощі, активність води.

Постановка проблеми. Зростання кількості неінфекційних захворювань серед населення працездатного віку, так званих «хвороб цивілізації», спонукає до радикальних змін у способі життя та культурі харчування. Перспективним у цьому напрямі є використання надбань холистичних медичних систем, орієнтованих на відновлення та підтримання здоров'я людини та забезпечення активного довголіття. Особливе місце серед них належить Аюрведі — прадавній науці, що розвивалась і поповнювалась знаннями протягом тисячоліть і на сьогодні не тільки не втратила актуальність, а й знайшла своє місце та здобула подальшого удосконалення у сучасному світі [1].

Слід зазначити, що Аюрведа не є альтернативною медициною, її теоретичні надбання та лікувальна практика тісно переплітаються із загальноприйнятими поняттями традиційної медицини. Аюрведична та традиційна медицина — дві гілки одного дерева, в основі якого — здоров'я людини.

Однією з вагомих складових Аюрведи є дієтологія, що пропонує персоналізований підхід до раціонів харчування залежно від індивідуальної конституції людини (переважаючих дош). Корегуванням раціону можна нівелювати негативний вплив

зовнішнього середовища та вжити заходів для приведення організму до рівноваги та підтримки гомеостазу організму.

Аюрведичне харчування ґрунтується на теорії смаків, які називають «раса», що в буквальному сенсі означає «сутність», тобто саме смакові характеристики визначають властивості харчових продуктів. Розрізняють шість основних смаків, окрім традиційних чотирьох — солодкий, солений, кислий та гіркий, виокремлюють ще два — в'язучий (терпкий) та гострий (пекучий). Кожен з цих смаків володіє певними властивостями — солодкий є холодним та важким, надає сили та стабільності; кислий смак є зігріваючим, стимулює секрецію травних ферментів, гострий є розігріваючим, спонукає до прискорення процесів метаболізму та трансформації їжі, сприяє травленню [2].

За рекомендаціями аюрведичної науки для до раціону харчування людей із домінуючою Вата конституцією або для балансування Вата доші рекомендовано переважання солодкого та кислого смаків, для Пітти — солодкого, в'язучого (терпкого) та гіркого, для Капхи — в'язучого (терпкого), гіркого та гострого [3].

Відповідно, теорія смаків лежить в основі розробки рецептур продуктів аюрведичного харчування.

У сучасному світі популярністю серед усіх верств населення користуються солодощі, основним недоліком яких є високий вміст вуглеводів, вагома частина яких припадає на рафінований цукор. Надлишкове споживання таких продуктів призводить до виникнення ряду негативних наслідків: порушення обмінних процесів в організмі, надлишкова вага, діабет 2-го типу тощо. Тому актуальним завданням на сьогодні є розробка технологій солодощів зі зниженим вмістом або навіть виключенням зі складу рецептур рафінованих цукрів за рахунок природної солодкості плодово-ягідної сировини, що обумовлена переважно вмістом фруктози та глюкози [4—6].

Крім того, плодово-ягідна сировина є джерелом пектинових речовин, що, окрім біологічної дії, можуть слугувати допоміжним желуючим компонентом та ряду біологічно активних речовин — вітамінів, переважно водорозчинних і β-каротину; фенольних сполук, у тому числі антоціанів та комплексу мінеральних речовин — феруму, купруму, калію, фосфору, мангану тощо.

Перспективним у цьому напрямі є удосконалення технології желейних виробів. Найбільш відомим серед них є мармелад — цукровий кондитерський виріб драглистої структури, отриманий уварюванням фруктово-ягідного пюре або водного розчину агару, карагінану, пектину чи желатину з цукром [7].

Класична технологія мармеладу передбачає використання яблучного пюре. Науковцями Національного університету харчових технологій [8] запропоновано використання у технологіях мармеладних виробів різних видів плодово-ягідних пюре, зокрема абрикосового, персикового, сливового, пюре з ягід малини, обліпихи тощо, що дозволить збагатити продукт комплексом біологічно активних речовин.

Для виробництва мармеладу використовують різні види плодово-ягідної сировини — сік ягід обліпихи [9], що дозволяє збагатити продукт комплексом біодоступних мінеральних речовин (калію, натрію, магнію, фосфору, феруму) та вітамінів (β-каротину, С, Е, РР та групи В). Але підвищений вміст органічних кислот у натуральному соці обліпихи вимагає збільшення кількості цукру у продукті.

Відома технологія мармеладу на основі пюре ягід червоної смородини з додаванням цукру або сорбіту чи фруктози. Вихідні компоненти використовуються при такому співвідношенні: цукор білий 40%, пюре ягід смородини червоної 60% або

сорбіт 25%, фруктоза 25%, пюре ягід смородини червоний 50% [10]. Винахід дозволяє отримати продукт з високою харчовою цінністю, желуючими та органолептичними властивостями, без додавання драглеутворювачів та солей-модифікаторів, низькою калорійністю, придатний до вживання людям, які страждають на цукровий діабет.

Згідно з чинними нормативними документами [7] вміст сухих речовин у мармеладних виробках повинен бути не менше ніж 77%, що досягається за рахунок додавання цукру. Розробка нових видів мармеладу для людей, що мають обмеження у вживанні цукру, передбачає використання фруктози або інших цукрозамінників. Тому актуальним є цілеспрямований підбір плодово-ягідної сировини для максимального виключення цукру зі складу желейних виробів.

Вивчена можливість використання ягідно-овочевих пюре як біологічно активних добавок під час виробництва кулінарних желе. Як добавки використано пюре з аронії, буряків, топінамбуру та їх суміші [10].

Природна солодкість плодово-ягідних пюре та застосування низькометоксильованого пектину як структуроутворювача дає змогу зменшити вміст цукру у мармеладних виробках на 50% [9].

На підставі експериментальних досліджень [11] доведено, що заміна цукру на глюкозу чи фруктозу у рецептурах мармеладних мас призводить до істотного зменшення ефективної в'язкості, що створює додаткові умови при зберіганні та транспортуванні таких виробів. Для забезпечення належних структурно-механічних властивостей мармеладних мас за часткової заміни чи повного виключення цукру потребується додаткове використання ефективних драглеутворювачів — агарових полісахаридів чи пектину.

Під час уварювання плодово-ягідного пюре відбувається руйнування вітамінів та інших біологічно активних речовин рослинної сировини. Тому перспективним напрямом наукових досліджень є розробка нових видів желейних виробів без уварювання основної частини плодово-ягідної основи.

Мета дослідження полягає у розробці рецептур та визначенні показників якості аюрведичних желейних виробів на основі плодово-ягідної сировини з прянощами без додавання цукру, із рекомендаціями для споживачів Вата, Пітта і Капха конституцій.

Матеріали і методи. За основу желейного виробу для Вата доші було взято свіжовичавлений сік солодких сортів яблук — Гера, Кіндратівка, Кюре тощо (масова частка сухих речовин $(14\pm 2)\%$).

Пюре із ягід малини отримано таким чином: ягоди промиваються, вмищуються у ємність, нагріваються на водяній бані до температури $70\text{...}75^\circ\text{C}$ і витримуються протягом 5...10 хвилин. Після цього відокремлюються кісточки за допомогою протирочної машини із діаметром вічок спочатку 1,5...2,0 мм, потім 0,4...0,5 мм. Однорідна маса $(9\pm 1)\%$ сухих речовин готова до використання. За необхідності масу охолоджують до температури $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ і зберігають до використання.

Приготування желейних виробів для Капха доші здійснюють на основі свіжовіджатого соку груші — масова частка сухих речовин $(12,5\pm 1)\%$, при цьому не рекомендовано використовувати перезрілі фрукти та фрукти, що тривалий час зберігались. Використання фруктів нормальної зрілості збільшує вихід соку та обумовлює наявність характерного в'язучого присмаку.

Аналогічно для введення до складу рецептури Пітта доші пропонується свіжовіджати сік лайму — $(9\pm 1)\%$ сухих речовин.

До складу рецептур желеєвих виробів передбачено введення порошоків полуниці та ківі сублимаційного сушіння масовою часткою сухих речовин $95\pm 2\%$. Вибір плодово-ягідних порошоків зумовлено максимальним збереженням біологічно цінних складових рослинних інгредієнтів при сублимаційному сушінні, їх кращою здатністю до відновлення та збереженням органолептичних показників, властивих свіжим фруктам та ягодам.

Для надання продуктам ніжної пластичної структури та забезпечення збереження форми виробів визначено раціональне співвідношення структуроформуючих інгредієнтів — агар-агар:камедь ріжкового дерева 7:1.

До складу рецептур аюрведичних солодоців передбачено введення прянощів у сухому меленому вигляді (розмір частинок до 0,2 мм): кориці, бодяну та духмяного перцю, м'яти перцевої — у вигляді екстракту.

Екстракт листя м'яти отримували таким чином: листя м'яти перцевої промивали, змішували із водою у співвідношенні 1:10, нагрівали до температури $85\text{...}90^\circ\text{C}$ та витримували протягом 15 хвилин. Після цього екстракт фільтрувався.

Модельні зразки желеєвих виробів готувались таким чином: яблучний (грушевий) сік отримували із свіжих фруктів. У невеликій кількості свіжовіджатого соку замочували розраховану кількість агар-агару та залишали у спокої для набухання на 10...15 хвилин і додавали до основної маси соку. Розраховану кількість порошоків фруктів сублимаційного сушіння, подрібнені прянощі та камедь ріжкового дерева попередньо диспергували у невеликій кількості соку. Після цього додавались інші компоненти рецептури: малинове пюре чи екстракт листя м'яти.

Суміш нагрівали до температури $90\text{—}95^\circ\text{C}$ та витримували протягом 5...7 хв при постійному перемішуванні. Потім розливали у форми та витримували за температури $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 14—16 хв для формування структури.

Зразки оцінювали за вмістом сухих речовин висушуванням до постійної маси за температури, пружність — за допомогою приладу ВДК-7.

Органолептична оцінка зразків здійснювалась профільним методом у експертній комісії відповідно до ДСТУ ISO 6564:2005 «Дослідження сенсорне. Методологія. Методи створення флейвору». Для досліджень експертною комісією було визначено перелік дескрипторів, оцінка яких здійснювалась за 5-бальною шкалою відповідно до інтенсивності прояву; оцінка смаку й аромату аналогічним чином здійснювалась за 5-бальною шкалою бажаності.

Визначення масової частки вологи — згідно з ДСТУ 4910.

Дослідження активності води (A_w) (відносної вологості, %) здійснювали на аналізаторі активності води «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія) за температури 20°C , в діапазоні вимірювання 0...1 A_w (0...100% rh).

Стійкість до деформації вимірювали в лабораторних умовах на спеціальному приладі ВДК-7 виробництва ПП «Альтаір Плюс» за навантаження 0,120 кг протягом 30 с.

Результати дослідження. Обґрунтовано вибір та визначено раціональне співвідношення складових плодово-ягідної основи нових видів аюрведичних желеєвих виробів. Для забезпечення формування структури желеєвих виробів до складу модельної суміші вводились агар-агар у кількості 1,4% та камедь ріжкового дерева у кількості 0,2%.

Оскільки для балансування Вата доші потребується переважання солодкого смаку, у той же час терпкий смак повинен бути обмежений, як основу для желеєвого

виробу запропоновано яблучний сік і малинове пюре та порошок полуниці сублімаційного сушіння. Профілограма смако-ароматичних властивостей желейного виробу за різних співвідношень плодово-ягідної основи наведена на рис. 1, а.

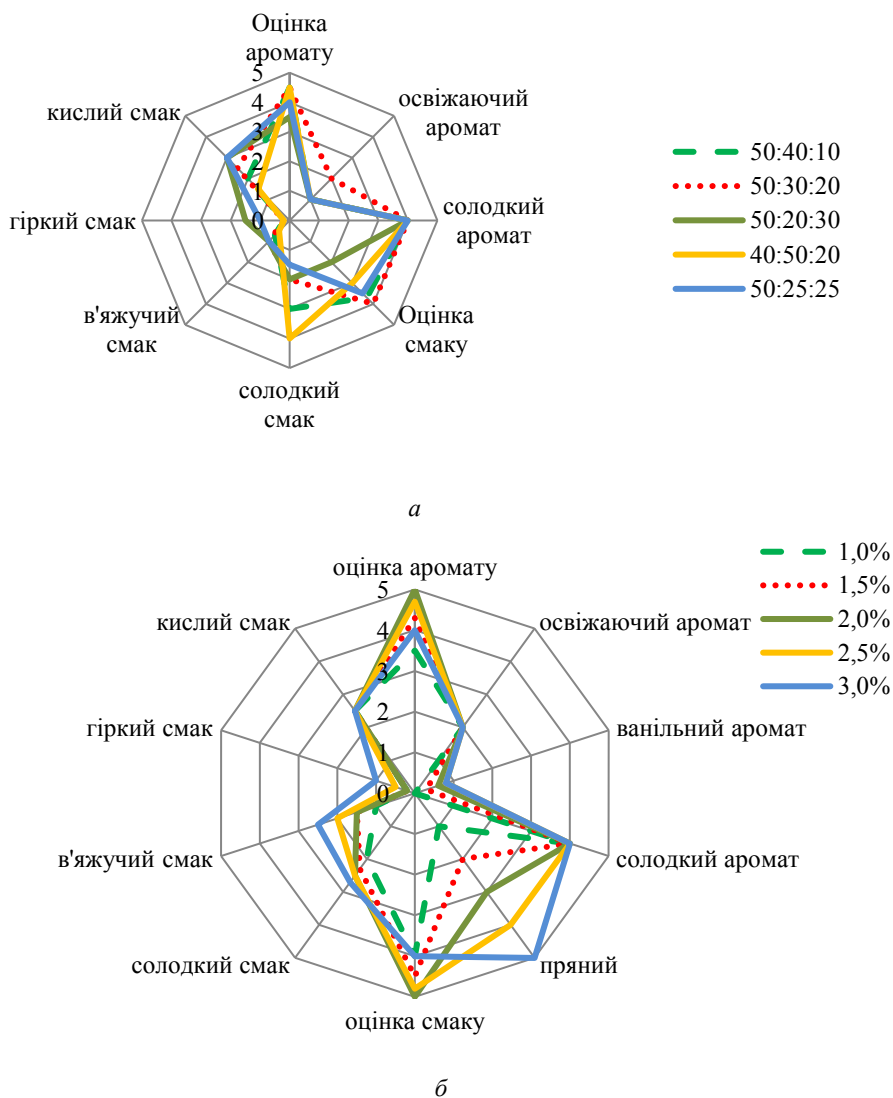


Рис. 1. Профілограма смаку та аромату желейного виробу для Вата доші за змінних співвідношень компонентів плодово-ягідної основи (а) та кількості кориці (б)

На основі аналізу профілограми (рис. 1, а) визначено раціональне співвідношення яблучний сік:малинове пюре:порошок полуниці як 50:30:20. Желейний виріб характеризувався помірно солодким смаком із легкою кислинкою та приємним солодким, злегка освіжаючим ароматом.

Для виробництва желейних виробів для Пітта доші обґрунтовано використання соку лайма, екстракту м'яти перцевої та порошку ківі сублімаційного сушіння; на

підставі органолептичної оцінки визначено раціональне співвідношення вищезазначених інгредієнтів — 20:60:20. Желейний виріб для Пітта доші мав кисло-солодкий освіжаючий смак та аромат, з ледь відчутним терпким присмаком і легкою гірчиною, притаманними соку лайма.

За основу желейного виробу для Капха доші взято грушевий сік і порошок полуниці сублімаційного сушіння у співвідношенні 70:30. Модельний зразок характеризувався помірно солодким смаком, з легкою кислинкою. Злегка виражений терпкий присмак обумовлений вмістом у плодах груши дубильних речовин, зокрема танінів, а гіркий відтінок зумовлений підвищеним вмістом порошку полуниці.

Універсальним компонентом, що дозволяє цілеспрямовано коригувати аюрведичні властивості харчової продукції є прянощі [12]. При додаванні навіть у невеликих кількостях вони надають оригінальних смако-ароматичних якостей, виявляють зігріваючий чи охолоджуючий ефект та сприяють процесу травлення.

Крім того, введення прянощів дозволить частково компенсувати охолоджуючий ефект желейних виробів та сприяти балансуванню Вата та Капха доші.

Для використання у складі рецептур для Вата доші запропоновано використання кориці, що характеризується доволі м'яким праним смаком та приємним солодким ароматом. З метою визначення раціональної кількості введення кориці здійснювалась органолептична оцінка зразків желейних виробів (кількість кориці коливалась в межах від 1,0 до 3,0% з інтервалом у 0,5%). Визначено раціональну кількість додавання кориці — 2% (рис. 1, б).

Якщо для Вата доші потребується м'який зігріваючий праний присмак та аромат, то для Капха доші потребується більшої кількості прянощів задля стимулювання травлення та компенсації охолоджуючого ефекту солодошів.

Для введення до складу рецептури для Капха доші рекомендовано такі прянощі: кориця, духмяний перець та бодян. З метою забезпечення гармонійності смако-ароматичних властивостей желейного виробу для Капха доші було визначено раціональне співвідношення вищезазначених прянощів. Кількість додавання комбінаційної суміші прянощів встановлена на рівні 2%. Органолептична оцінка зразків за змінних співвідношень прянощів наведена на рис. 2.



Рис. 2. Профілограма смаку та аромату желейного виробу для Капха доші за змінних співвідношень прянощів — духмяний перець:кориця:бодян

Встановлено раціональне співвідношення духмяний перець:кориця:бодян є 1:1:0,6, що забезпечує отримання гармонійного вираженого присмаку та аромату композиції прянощів. Визначена раціональна кількість введення композиції — 2,6%.

З огляду на рекомендації аюрведичної науки та результати експериментальних досліджень розроблено рецептурний склад желейних виробів для балансування Вата, Пітта та Капха дош (табл. 1).

Таблиця 1. Рецептурний склад аюрведичних желейних виробів для Вата, Пітта та Капха дош

| Найменування сировини | Кількість, г | | |
|---|---------------|----------------|----------------|
| | для Вата доші | для Пітта доші | для Капха доші |
| Яблучний сік | 50 | - | - |
| Грушевий сік | - | - | 70 |
| Пюре із ягід малини | 30 | - | - |
| Порошок полуниці сублимаційного сушіння | 20 | - | 30 |
| Сік лайма | - | 20 | - |
| Екстракт листя м'яти | - | 60 | - |
| Порошок ківі сублимаційного сушіння | - | 20 | - |
| Кориця мелена | 2 | - | 1,0 |
| Духмяний перець | - | - | 1,0 |
| Бодян | - | - | 0,6 |
| Агар-агар (1200 од) | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Камедь ріжкового дерева | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Всього | 103,6 | 101,6 | 104,2 |

Здійснено аналіз смаку та аромату желейних виробів, вироблених за розробленими рецептурами (рис. 3).



Рис. 3. Профілограма смаку та аромату аюрведичних желейних виробів

Таким чином, профіль смаку та аромату нових видів желейних виробів відповідає рекомендаціям аюрведичної науки. Желейний виріб для Вата доші характеризувався м'яким, у міру солодким, злегка кислим присмаком і помірно вираженим солодко-пряним ароматом. Продукт для Пітта доші також був у міру солодким

смаком, із злегка терпким та гірким присмаком, характерним для соку лайма, та мав освіжаючий лимонно-м'ятний аромат. Для Капха доші більш вираженим є пряно-терпкий смак та виражений пряно-лимонний теплий аромат.

Органолептичні показники аюрведичних желейних виробів наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Органолептичні показники якості аюрведичних желейних виробів

| Найменування показника | Желейний продукт для | | |
|------------------------|---|---|---|
| | Вати | Пітти | Капхи |
| Форма | Правильної форми, з гладенькими краями | | |
| Поверхня | Гладка, з глянцеvim блиском | | |
| Колір | Рожево-червоний, рівномірний за всією масою, із включенням частинок порошку ягід полуниці | Світло-зелений, із включенням частинок порошку ківі | Світло-рожевий, із включенням частинок порошку ягід полуниці |
| Смак | Виражений, властивий плодово-ягідній основі та внесеним прянощам | | |
| | В міру солодкий, з приємною кислінкою та характерним присмаком кориці | Кисло-солодкий, освіжаючий | В міру солодкий, з приємною кислінкою, з присмаком несених прянощів |
| Запах | Приємний, теплий пряний, із злегка вираженим ароматом малини та яблука | Із вираженим охолоджуючим ароматом м'яти та лайма | Приємний, теплий пряний, із легким ароматом полуниці та груші |
| Консистенція | Пружна | | |

Визначено фізико-хімічні та термодинамічні показники нових видів желейних виробів. Встановлено, що стійкість до деформації виробів зростає із підвищенням вмісту сухих речовин (табл. 3). Тобто консистенція таких виробів більш пружна, що обумовлюється зниженням вмісту вільної вологи та включенням набряклих частинок до просторової структури драглів.

Таблиця 3. Фізико-хімічні та термодинамічні показники аюрведичних желейних виробів

| Найменування показника | Желейний виріб для | | |
|---------------------------------|--------------------|-------|-------|
| | Вати | Пітти | Капхи |
| Масова частка сухих речовин, % | 39,3 | 38,0 | 47,5 |
| Стійкість до деформації, ум.од. | 32,6 | 29,6 | 46,5 |
| Ентальпія, Дж/г | 45,01 | 46,10 | 43,10 |
| Активність води, a_w | 0,941 | 0,944 | 0,923 |

Ентальпія процесу знижується зі збільшенням вмісту сухих речовин, що вказує на підвищення ступеня впорядкованості системи внаслідок розгортання просторової структури полісахаридів та, вочевидь, утворення ділянок, які сполучають між собою окремі ланцюги.

Зниження показника активності води можна пояснити гідратаційними властивостями порошку полуниці. Також сублімаційне сушіння чинить найменший вплив на ягідну сировину, що й забезпечує відновлення порошоків за доступу вільної вологи.

Висновки. Обґрунтовано рецептурний склад нових видів желейних виробів за аюрведичними принципами персоніфікованого харчування на основі плодово-ягідної сировини з прянощами без додаткового введення цукру.

Визначено раціональне співвідношення свіжовіджатого соку яблука, пюре малини та порошку полуниці в основі рецептури желейного виробу для Вата доші як 50:30:20; екстракту м'яти перцевої, соку лайму та порошку ківі для Пітта доші як 60:20:20; грушевого соку та порошку полуниці для Капха доші як 70:30.

Розроблено комбінацію прянощів для використання у складі рецептури желейного виробу для Капха доші духмяний перець:кориця:бодян у співвідношенні 1:1:0,6 та визначено раціональну кількість введення комбінації прянощів — 2,6%.

Обґрунтовано доцільність використання кориці (розмір частинок до 0,2 мм) у складі виробу для Вата доші в кількості 2,0%.

Доведено ефективність застосування як структуроформуючого компонента комбінаційної суміші агар-агару (1200 ум.од) та камеді ріжкового дерева у співвідношенні 7:1. Стійкість до деформації желейних виробів коливалась від 29,6 до 46,5 ум.од.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитриева А. В. Аюрведа для Украины / А. В. Дмитриева // Фітотерапія. — 2017. — № 1. — С. 59—72.
2. Чистяков Ю. І. Аюрведа сьогодення, інтеграція основних методів східної медицини в систему охорони здоров'я України / Ю. І. Чистяков, Т. В. Кулемзіна, О. Ю. Колесніченко // Фітотерапія. — 2010. — № 2. — С. 101—102.
3. Лад У., Лад В. Аюрведическая кулинария / У. Лад, В. Лад : — М.: Саттва. — 2000. — 318 с. Фроули, Д. Аюрведическая терапия / Д. Фроули: пер. с англ. — 10-е изд. — Москва: Саттва, 2015. — 448 с.
4. Матяс Д. С. Оптимізація рецептурного складу желейного мармеладу з пониженим 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. 121—132.
5. Соловйова О. Л. Удосконалення технології желейного мармеладу спеціального споживання: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.01. — Київ : НУХТ, 2011. — 159 с.
6. Юргачова К. Г. Технологія двохслойного дієтичного мармеладу / К. Г. Юргачова, Л. В. Гордієнко, К. В. Аветисян // Біоресурси, біотехнологія харчових продуктів. — 2010. — № 10. — С. 24—26.
7. ДСТУ 4333:2018 Мармелад. Загальні технічні умови. Чинний від 01.01.2019 р.
8. Камбулова Ю. В. Аналіз якості плодових і ягідних пюре для виробництва мармеладу / Ю. В. Камбулова, Н. О. Оверчук // Харчова промисловість. — 2015. — С. 46—50.
9. Головка, Н. П. Формування асортименту та якості фруктово-ягідних мармеладних виробів на основі дикорослих ягід [Електронний ресурс] / Н. П. Головка, А. А. Рибцева // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. — 2013. — Вип. 1. — С. 89—93.
10. Салавеліс А. Д., Павловський С. Н. Влияние фитообогатителей на качество желейных изделий / А. Д. Салавеліс, С. Н. Павловський // Міжнародний науковий журнал Науковий огляд. — 2018. — Т. 2, № 45. — С. 71—81.
11. Матяс, Д. С. Удосконалення технології мармеладу желейно-фруктового з пониженим цукровмістом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 «Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів» / Матяс Дарія Сергіївна; НУХТ. — К., 2019. — 23 с.
12. Козловський А. Йога специй: / Анатолий Козловський. — Н. Новгород: А. Г. Москвичев, 2015. — 424 с.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АЮРВЕДИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ С ПРЯНОСТЯМИ

Н. М. Ющенко, А. А. Савицкая, В. Д. Чернова, В. В. Новиков, В. В. Плюта
Национальный университет пищевых технологий

Обоснован рецептурный состав новых видов желейных изделий на основе плодово-ягодного сырья и пряностей с учетом рекомендаций аюрведической науки.

Определено рациональное соотношение в составе желейного изделия для Ваты яблочного сока, пюре малины и порошка клубники — 50:30:20; для Питты экстракта мяты перечной, сока лайма и порошок киви — 60:20:20; для Капхи грушевого сока и порошка клубники — 70:20. В составе рецептуры для Ваты обосновано введение корицы — 2,0%; для Капхи — комбинации пряностей душистый перец: корица:бадьян (1:1:0,6) — 2,6%.

Доказана эффективность применения в качестве структуроформирующего компонента комбинационной смеси агар-агара (1200 усл.ед.) и камеди рожкового дерева в соотношении 7:1. Показатель активности воды составлял 0,944...0,923, структура была достаточно стабильной, устойчивость к деформации колебалась от 2 46,5 усл. ед.

Ключевые слова: аюрведические продукты питания, желейные изделия, пряности, активность воды.

УДК 664.14

CHANGING THE QUALITY OF UNGLAZED CANDIES WITH A CRYSTALLINE STRUCTURE BASED ON A COMBINATION OF LACTOSE AND FRUCTOSE SUGARS DURING STORAGE

O. Dorozhynska, O. Kokhan*National University of Food Technologies***Key words:**

fondant mass,
lactose,
fructose,
moisture-retaining agent,
crystallization,
shelf life

Article history:

Received 13.12.2021
Received in revised form
15.12.2021
Accepted 20.12.2021

Corresponding author:

ksusha.onofriychuk@
gmail.com

ABSTRACT

The article considers the problem of fondant candies as a carrier of empty calories. The world experience of using sucrose substitutes in fondant sweets technologies is analyzed. Having studied the technological properties of lactose, it was noted that on its basis it is impossible to obtain a fondant mass of the desired structure, as lactose crystallizes in the form of large crystals. In order to control the growth of lactose crystals, it was proposed to add to the formulation of a moisture-retaining agent — fructose monosaccharide. On the basis of the conducted researches own developments in the direction of improvement of technologies of fondant candies on the basis of a combination of sugars lactose and fructose were presented.

The paper presents the results of studies of changes in physico-chemical and structural-mechanical properties of unglazed fondant candies made from a combination of lactose and fructose sugars during storage. To achieve this goal, standard physicochemical, structural and mechanical research methods were used, as well as the sorption-desorption properties of candy samples by desiccator method were studied and their water activity index was determined.

The results of research have shown that the use of fructose in the formulation of the developed fondant sweets ensured the preservation of their quality during storage. The use of lactose provided only the formation of a crystal lattice of the body. According to the obtained results, it was found that the values of water activity, drying index and plastic strength of samples based on a combination of fructose and lactose are much lower compared to the control sample of fondant candies. The use of fructose slows down the curing process of the product, as evidenced by the results of sorption-desorption properties of the studied samples.

The use of fructose in the technology of unglazed fondant without sugar has a positive effect on extending the shelf life of unglazed fondant and gives them the status of a food product with a low glycaemic index.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-4

ЗМІНА ЯКОСТІ НЕГЛАЗУРОВАНИХ ЦУКЕРОК КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ КОМБІНАЦІЇ ЦУКРІВ ЛАКТОЗИ ТА ФРУКТОЗИ ПРОТЯГОМ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ

О. С. Дорожинська

О. О. Кохан, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати досліджень зміни фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей неглазурованих помадних цукерок, виготовлених при повній заміні цукру білого кристалічного на комбінацію цукрів лактози і фруктози, під час їх зберігання. Для досягнення поставленої мети були використані стандартні фізико-хімічні, структурно-механічні методи досліджень, застосований екскаторний метод для дослідження сорбційних властивостей зразків цукерок, визначений показник активності води в розроблених виробках.

Використання комбінації цукрів лактози і фруктози в технології неглазурованих цукерок кристалічної структури розширює асортимент кондитерської продукції з низьким показником глікемічності, а самі вироби краще за контроль зберігають свої початкові характеристики якості.

Ключові слова: помадна маса, лактоза, фруктоза, вологоутримуючий агент, кристалізація, термін зберігання.

Постановка проблеми. Кондитерські вироби, незважаючи на те, що вони не є продуктами першої необхідності, завжди користуються великим попитом у всіх верств населення. Однак світова проблема пов'язана зі збільшенням захворювання цукрового діабету та ожиріння стала рушійною силою розвитку харчової промисловості в напрямку розробки низькокалорійних і низькоглікемічних продуктів. Заміна цукру в продуктах харчування сформувала новий погляд на здорову їжу, яка позиціонується виробниками харчових продуктів, як «без цукру», «без додавання цукру» та «зі зниженою калорійністю/цукровмістом». Один із шляхів досягнення цієї мети полягає у використанні цукрів, цукрозамінників і підсолоджувачів [1].

Серед кондитерських виробів, які в своєму рецептурному складі представлені в більшості сахарозою, можна виділити помадні цукерки. Ці вироби поряд із високими смаковими властивостями вирізняються низькою харчовою цінністю через первантаження їх складу простими вуглеводами, тому питання виготовлення помадних цукерок без використання цукру білого кристалічного є досить актуальним.

Науковцями із США було запропоновано виготовляти помадку із категорії «без цукру» шляхом повної заміни сахарози на поліоли: ізомальтитол, мальтитол та ксиліт [2]. Вчені із Японії як альтернативу цукру білому кристалічному в технології цукерок кристалічної структури використовували комбінацію поліолів: ксилітолу та сорбітолу [3]. Однак поліоли відносяться Комісією Кодекс Аліментаріус до цукрозамінників, норма споживання яких є регламентованою [4], відповідно, і вживання виробів на їх основі має бути в регламентованих межах.

На нашу думку, доцільно розглядати питання отримання помадних цукерок без сахарози за рахунок використання інших природних цукрів. Експерти продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) вважають, що термін «цукри» притаманний всім моно- і дисахаридам, тобто сахароза, глюкоза, фруктоза, лактоза, мальтоза, галактоза, трегалоза, лактулоза належать до групи цукрів [5].

Вченими ОНАХТ була розроблена рецептурна композиція для виробництва помадних цукерок, де функціональним інгредієнтом виступає дисахарид лактулоза [6]. Згідно з проведеними дослідженнями авторами було рекомендовано вносити лактулозу в кількості 8,57—12,9% до загальної маси цукерок. Використання представленої композиції забезпечувало зниження енергетичної цінності готового продукту, що робить його придатним для дієтичного харчування, а також покращення його фізіологічних властивостей. Німецькими вченими було розроблено помадні цукерки із 20-відсотковою заміною сахарози на лактозу, завдяки чому вироби стали більш ніжної консистенції та отримали низку корисних властивостей [7].

На сьогодні виробництво лактози стрімко зростає, тому що все частіше для отримання безлактозного молока застосовують інноваційні технології, які передбачають нанофільтрацію молочної сировини, що дає змогу вилучати з неї молочний цукор. Крім того, основною сировиною для отримання лактози є молочна сироватка, технології переробки якої набувають світових масштабів. Тому молочний цукор є перспективною сировиною і може розширювати галузі свого застосування, виходячи за межі фармацевтичної галузі.

Використання лактози є доволі перспективним напрямом при виробництві кондитерських виробів без цукру або зі зменшеною часткою, оскільки її солодкість складає — 25—35% солодкості сахарози, глікемічний індекс цього цукру становить лише 45%. Лактоза підсилює процес накопичення в організмі вітамінів групи В. Потрапляючи в кишечник, цей дисахарид сприяє всмоктуванню і максимально повному засвоєнню кальцію та фосфору. Основна ж властивість лактози полягає в тому, що цей вуглевод є субстратом для розмноження та розвитку лактобактерій і біфідобактерій, які складають основу нормальної мікрофлори кишківника [8].

Однак повна заміна сахарози на лише лактозу в рецептурі помадних цукерок, що мають дрібнокристалічну структуру за рахунок викристалізації сахарози, неможлива. Це пов'язано з суттєвою відмінністю фізико-хімічних показників цих цукрів. З пересичених розчинів лактоза викристалізовується, однак маючи низьку розчинність, а саме 16% за температури 20°C, вона спричиняє утворення грубокристалічної помадної маси, непридатної для виготовлення помадних цукерок. [8, 9]. З огляду на це пропонується використовувати лактозу в комбінації із висок розчинним моносахаридом фруктозою.

Фруктоза є одним з найбільш поширених видів натурального цукру. Вона відноситься до групи моносахаридів і є одним з найважливіших природних цукрів. Значною перевагою фруктози, порівняно із сахарозою, є його низький глікемічний індекс (ГІ), який дорівнює 20%, тоді як сахарози — 68%. За рахунок своєї високої гігроскопічності вона здійснює позитивний ефект затримки черствіння продукту, покращення фізіологічних характеристик і подовження терміну зберігання виробу [1].

У результаті попередньо проведених досліджень розроблено рецептуру неглазурованих помадних цукерок без сахарози на основі комбінації цукрів лактози і фруктози «Молочне сузір'я» [10]. Отримані вироби мають низький показник глікемічності — 34,0 од, що дає змогу позиціонувати їх як солодощі з низьким показником глікемічності (ПГ < 55 од).

Великою проблемою цукерок кристалічної структури є схильність до інтенсивної втрати вологи при зберіганні, що погіршує їх органолептичні властивості. Тому

для прогнозування поведінки розроблених цукерок під час зберігання доцільно провести серію досліджень зі встановлення впливу комбінації лактози та фруктози на зміну показників якості розроблених виробів.

Мета дослідження: дослідити зміну показників якості цукерок, виготовлених при повній заміні сахарози комбінацією цукрів лактози та фруктози, з метою прогнозування їх поведінки під час зберігання.

Матеріали і методи. Проводилися дослідження зразків неглазурованих помадних цукерок, що виготовлені на основі сахарози (контрольний зразок) та розроблених зразків цукерок на основі лактози і фруктози. З метою вивчення впливу повної заміни цукру білого кристалічного на комбінацію дослідних цукрів під час зберігання було проведено визначення фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей цукерок.

Визначення фізико-хімічних показників готової продукції здійснювали загальноприйнятими в кондитерській галузі методами [11]. Визначення структурно-механічних показників готових виробів проводили на структурометрі СТ-1. Для визначення пластичної міцності зразків помадних цукерок використовувався режим роботи структурометра № 6, насадка — конус з кутом 45° і такими параметрами: швидкість руху столика вгору $V = 65$ мм/хв; глибина занурення інструменту $H = 7$ мм; тривалість занурення конуса $\tau = 10$ с [12]. Визначення активності води в досліджуваних зразках проводили на електронному приладі «LabMaster-aw neo» фірми Novasina AG (Швейцарія). Визначення сорбційно-десорбційних властивостей цукерок проводили ваговим методом під час зберігання продуктів в ексікаторі [12].

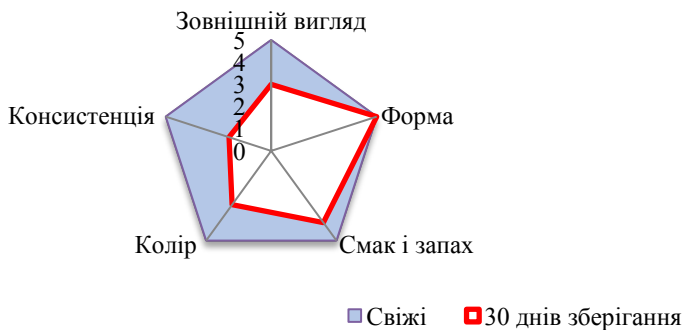
Результати досліджень. Першим етапом досліджень було визначення фізико-хімічних показників якості помадних цукерок: контрольного зразка (на сахарозі) та розробленого зразка на основі комбінації цукрів лактози та фруктози; було проаналізовано їх відповідність вимогам нормативної документації ДСТУ 4135:2021 «Цукерки» [13]. Результати цих досліджень представлені в [10].

Наступний етап роботи був спрямований на визначення зміни якості досліджуваних зразків цукерок при зберіганні.

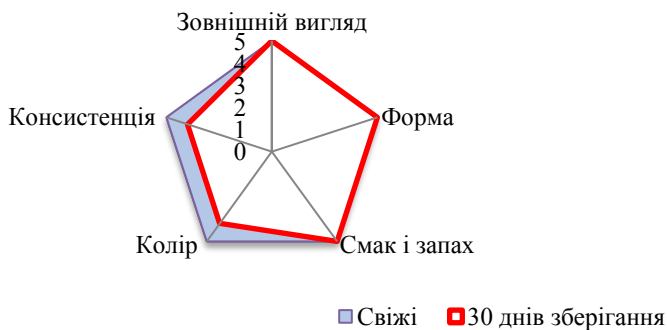
На рис. 1 представлені профілографи органолептичних показників якості зразків цукерок у день виготовлення та після зберігання непакованими 30 діб.

При проведенні визначення органолептичних показників зразків цукерок було встановлено, що в контрольному зразку під час зберігання інтенсивніше відбувалася зміна консистенції, зразок набував твердої структури, що значно знижувало якість виробу. Аналізуючи зразок на основі комбінації лактози і фруктози, фіксували, що консистенція після зберігання залишилася майже незмінною, що можна пояснити більш високим вмістом вологоутримуючого компонента — гігроскопічної фруктози, яка сповільнює ріст утворених у помадній масі кристалів лактози, за рахунок чого зберігається приємна дрібнокристалічна структура виробу.

Зміна органолептичних показників цукерок при зберіганні корелює зі зміною масової частки води цукерок, оскільки саме видалення води з корпусів цукерок кристалічної структури призводить до збільшення частки твердої фази помади та погіршення органолептичних показників цукерок після певного терміну зберігання. Також було проведено визначення показника усихання неглазурованих помадних цукерок, які зберігалися непакованими протягом 6 тижнів. Результати дослідження представлені на рис. 2.



a



б

Рис. 1. Профілограми органолептичних показників зразків: а — контроль; б — зразок на основі лактози та фруктози під час зберігання

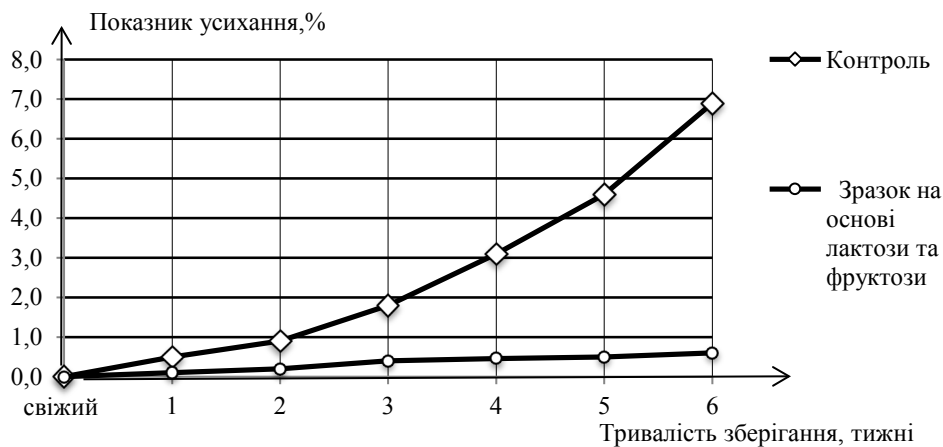


Рис. 2. Усихання помадних цукерок при зберіганні протягом 6 тижнів непакованими

Аналізуючи результати показника усихання контрольного та розробленого зразків помадних цукерок, слід зазначити, що процес черствіння зразка на основі лактози і фруктози відбувається значно повільніше порівняно із класичним зразком на сахарозі. При зберіганні цукерок непакованими протягом 6 тижнів показник усихання для розробленого зразка був на 91% нижчим порівняно із цим показником для контрольного зразка. Це пояснюється високою вологоутримуючою здатністю фруктози, що й спричинює сповільнення видалення вологи із зразка протягом значного терміну зберігання. Схожі результати отримані при дослідженні помадних цукерок із заміною 10% сахарози на фруктозу [14]. При цьому зазначалася можливість збільшення терміну зберігання неглазурованих помадних цукерок до 30—42 діб в упакованому вигляді.

Видалення вологи з корпусів цукерок супроводжується зміною балансу між рідкою і твердою фазами помадної маси в бік збільшення твердої фази, що призводить до підвищення міцності корпусів цукерок і часткового погіршення їх якості. Тому було проведено дослідження структурно-механічного показника — граничної напруги зсуву досліджуваних зразків цукерок.

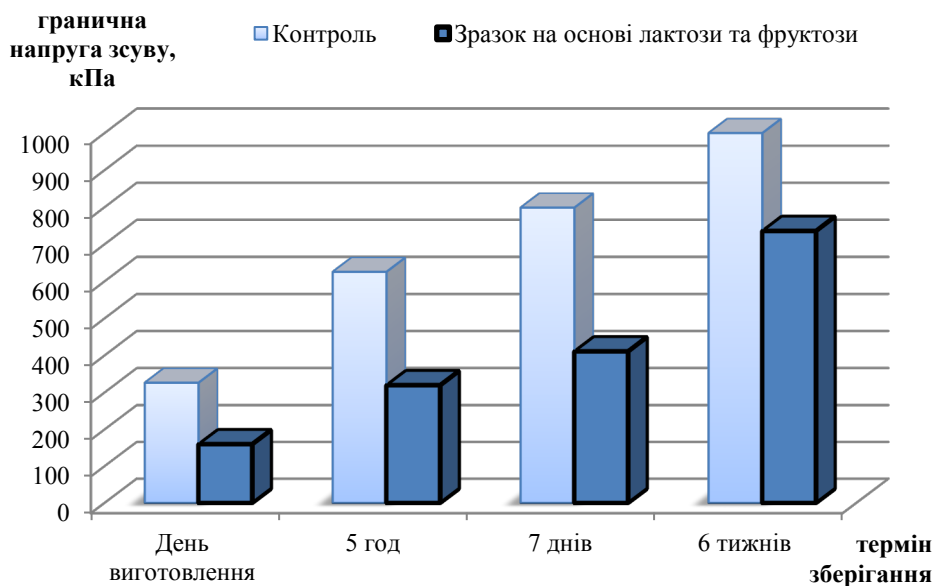


Рис. 3. Зміна граничної напруги зсуву помадних цукерок при зберіганні

З отриманих результатів видно, що при заміні цукру на комбінацію лактози-фруктози гранична напруга зсуву виробів має менші значення протягом усього терміну зберігання зразків. Так, для свіжовиготовлених розроблених зразків порівняно із контролем зменшення цього показника становить 51%, а при зберіганні 6 тижнів — 26,5%. На нашу думку, це пов'язано зі зміною співвідношення твердої та рідкої фази помадної маси розробленого зразка. Класична помада являє собою дрібні кристали цукру, які огортаються рідкою фазою помади. В процесі зберігання рідка фаза переходить у пересичений розчин і частина сахарози з нього викристалізову-

ється, збільшуючи частку твердої фази помади, виріб твердіє. Щоб уникнути висихання помадки, рекомендується вносити модифікатори кристалізації, які діють як стабілізатори і зберігають взаємозв'язок рідкої та твердої фаз [15]. У розробленому зразку за утворення кристалічної структури відповідає лактоза. Фруктоза, маючи високу розчинність, не здатна до кристалізації, тому, зазвичай, цей цукор формує рідку фазу помади. Володіючи гігроскопічними властивостями фруктоза сорбує вологу з оточуючого середовища і сприяє збереженню міжкристалевого розчину в насиченому стані, перешкоджаючи його переходу в пересичений стан. Це гальмує процес викристалізації лактози з розчину, що й призводить до отримання менших значень граничної напруги зсуву в розробленому зразку помадних цукерок.

З вищезазначеного можна відмітити, що гігроскопічні інгредієнти відіграють велику роль у гальмуванні процесів, що викликають втрату вологи і, відповідно, призводять до черствіння готової продукції. Однак слід зазначити, що швидкість зміни показників якості під час зберігання залежить не лише від кількісного вмісту вологи в продукті, але й від її стану — доступності для розвитку мікроорганізмів, а також для перебігу низки процесів. Для характеристики стану вологи в продукті користуються таким показником, як показник активності води [12]. Отже, термін придатності харчових продуктів суттєво залежатиме від показника активності води, пропорційного рівноважній відносній вологості, за якої виріб не поглинає і не віддає вологу в атмосферу. За значенням активності води помадні цукерки відносяться до виробів із проміжною вологістю ($a_w = 0,65 - 0,80$), для яких характерні десорбційні процеси і можливі процеси мікробіологічного псування. Для таких виробів необхідно застосовувати технологічні прийоми, які дають змогу змінювати показник активності води, утримувати вологу в «зв'язаному» стані. До речовин, які знижують активність води, належать цукристі речовини: цукри, високооцукрена крохмальна патока з підвищеним вмістом глюкози, мед, інвертний сироп та вологоутримувальні добавки різного походження [16].

Для прогнозування поведінки досліджуваних зразків цукерок був визначений показник води, результати експерименту наведені на рис. 2.

При визначенні впливу рецептурного складу помадних цукерок на показник активності води (a_w) у досліджуваних зразках було виявлено, що зразок на основі лактози і фруктози має на 17,8% нижче значення показника a_w , ніж у контрольному зразку.

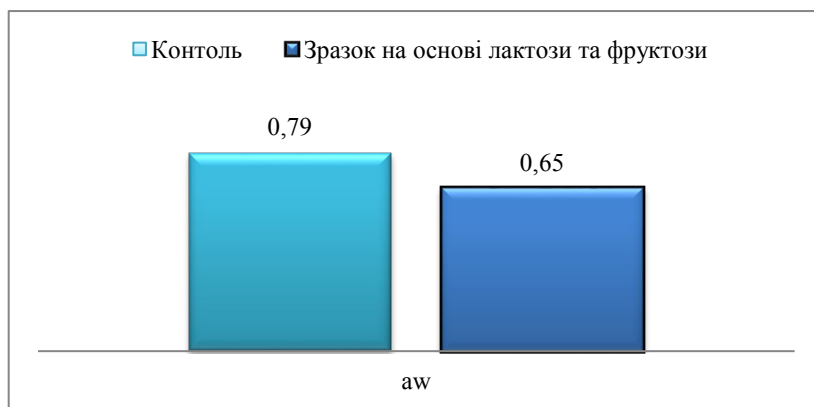


Рис. 4. Активність води в досліджуваних зразках помадних цукерок

Напевно, ще можна пояснити тим, що активність води розробленого зразка помадних цукерок, виміряна відносним тиском водяної пари над помадкою, визначається складом рідкої фази, яка в більшій мірі представлена молекулами фруктози [15]. Відомо, що сполуки із низькою молекулярною масою і високою розчинністю мають кращий вплив на зниження показника активності. Враховуючи фізико-хімічні властивості розглянутих цукрів [17], можна відмітити, що фруктоза має найнижчу молекулярну масу та найвищу розчинність серед них. З літературних джерел відомо, що фруктоза відноситься до гумектантів, тобто речовин, які здатні забезпечувати утримування вологи харчовими продуктами та знижувати активність води [8]. Отже, можна припустити, що використання фруктози в рецептурі розроблених помадних цукерок сприяє сповільненню процесу черствіння розробленого зразка при зберіганні. Лактоза, маючи низьку розчинність і більшу молекулярну масу, не впливає на зниження цього показника.

Відомо, що під час зберігання помадні цукерки будуть віддавати вологу в навколишнє середовище до встановлення рівноважної вологості. Для прогнозування поведінки виробів у процесі зберігання були проведені дослідження зі встановлення рівноважної вологості зразків ексикаторним методом.

Зразки були зважені і розміщені в ексикаторі, де за допомогою реагентів була встановлена відносна вологість повітря на рівні 75%. Такий вибір значення відносної вологості повітря в ексикаторі обумовлений тим, що існують рекомендації щодо зберігання цукерок при відносній вологості повітря не вище 75% [13].

Процес втрати маси зразків помадних цукерок в ексикаторі при відносній вологості повітря 75% представлений на рис. 5.

Показник усихання, %

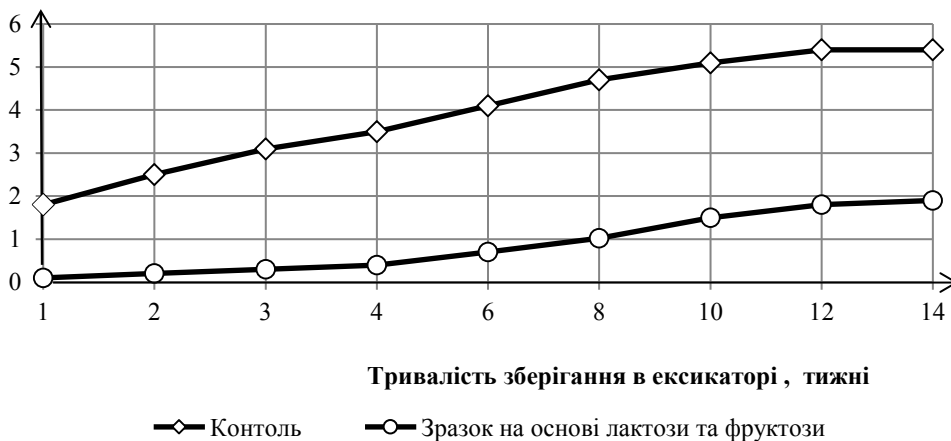


Рис. 5. Усихання помадних цукерок при зберіганні в ексикаторі

Прослідковується втрата вологи обома зразками цукерок, що засвідчує неминучий процес десорбції зразків під час зберігання, але для зразків з різним вуглеводним складом цей процес відбувається з різною інтенсивністю. Розрахункові результати визначення рівноважної вологості у досліджуваних зразках наведені в таблиці.

Таблиця. Рівноважна вологість зразків помадних цукерок

| Зразок цукерок | Значення рівноважної вологості зразків, % при $\phi = 75\%$ |
|--|--|
| Контрольний зразок на сахарозі ($w=10,0\%$) | 1,70 |
| Зразок на основі лактози та фруктози ($w=15,4\%$) | 10,8 |

Аналізуючи отримані дані, слід зазначити, що зразок помадних цукерок на сахарозі має значення рівноважної вологості значно менше за його масову частку води. Система буде прагнути до рівноваги і це призводитиме до того, що явище десорбції в цьому зразку буде відбуватися інтенсивніше. А ось у зразку цукерок на основі комбінації лактози з фруктозою явище десорбції буде проходити більш повільніше, адже його рівноважна вологість значно більша за контрольний зразок.

Для забезпечення стабільності помадних цукерок під час їх зберігання одним із дієвих шляхів може бути раціональний підбір способу пакування та пакувального матеріалу, використання якого дасть змогу уникати контакту виробу з нестабільними показниками оточуючого середовища і запобігати небажаним явищ сорбції і десорбції неглазурованих помадних цукерок на основі різного вуглеводного складу.

Висновок. Встановлено, що використання в рецептурі неглазурованих помадних цукерок лактози та фруктози сприяє зниженню показника глікемічності розроблених зразків на 48% порівняно із контролем та позитивно впливає на уповільнення швидкості видалення з них води. Дослідження демонструють і пояснюють вплив кожного із рецептурних інгредієнтів на основні показники якості продукції та їх зміну під час зберігання. Тому можна прогнозувати, що розроблений зразок помадних цукерок буде конкурентоспроможним на ринку солодоців країни та затребуваним серед усіх верст споживачів солодкої продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. O'Donnell K., Kearsley M. Sweeteners and sugar alternatives in food technology. — 2nd ed. UK.: Blackwell Publishing Ltd. 2012. — P. 490.
2. Patent Application Publication US 2013/0337140 A1 Sugar free fondant and method for preparing. Jennifer M. Parker. Applicant: Jennifer M. Parker. Appl. No.: 13/918,811. Filed: Jun. 14, 2013. Pub. Date: Dec. 19, 2013.
3. Atsukawa, K. Increase of solidification rate to improve quality of productivity for xylitol/sorbitol crystalline candy products/ K. Atsukawa, S. Kudo, S. Amari, H. Takiyama // Journal of Food Engineering. — 2020. — № 268. — P. 1—6 doi:10.1016/j.jfoodeng.2019.10973.
4. Матяс Д. С. Оптимізація рецептурного складу желейного мармеладу з пониженим вмістом цукру / Д. С. Матяс, Ю. В. Камбулова, А. М. Дорохович, І. В. Мандзюк // Наукові праці НУХТ. — 2018. — Том 24, №4. — С. 221—232.
5. Дорохович А. М. Дослідження сорбційних та десорбційних властивостей цукрів і цукрозамінників, прогнозування їхнього впливу на процеси під час зберігання кондитерських виробів / Дорохович А. М., Дорохович В. В., Бадрук В. В., Мурзін А. В., Абрамова А. Г., Єстремська Я. С. // Оборудование и технологии пищевых производств. — 2012. — Вып. 5. — С.276—284.
6. Пат. № 135736 Україна, МПК (2019.01) A23G 3/34 Композиція інгредієнтів для виробництва помадних цукерок з пребіотиком Л. С. Миргородська, Г. В. Коркач; заявник і патентовласник Одеська національна академія Харчових Технологій. № u2019 01658; заявл 18.02.2019; опубл. 10.07.2019., 5 с.
7. Pernot-Barry A. Importance of whey ingredients in confectionery products. IWC Paris 2008: 5th international whey conference. — P.: Central College of the German Confectionery Industry, 2008. — P. 24.

8. Дорохович А. М., Кобилінська О. В., Мурзін А. В., Кияница С. Г. Технологія пастили, зефіру, маршмелоу: Навчальний посібник за редакцією Дорохович А. М. — К.: ІНКОС, 2019. — 428 с.
9. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини: підруч. — К.: Академперіодика, 2011. — 486 с.
10. Кохан, О. О. Дослідження впливу фруктози і глюкози на технологічні операції виробництва неглазурованих помадних цукерок / О. О. Кохан, О. С. Онофрійчук, С. В. Ткаченко // Продовольчі ресурси. — 2018. — № 11. — С. 93—102.
11. 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.
12. 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.
13. Цукерки. Загальні технічні умови: ДСТУ 4135-2021. [Чинний від 2021-10-01]. К.: Держстандарт України, 2020. — 24 с. (Національний стандарт України).
14. 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.
15. Hartel R. W. Confectionery Science and Technology: ebook / R. W. Hartel, J. H. Von Elbe, R. Hofberger. — USA: Springer International Publishing, 2018. — 536 p. DOI 10.1007/978-3-319-61742-8.
16. Лозова Т. М. Дослідження впливу інноваційних інгредієнтів на збереженість борошняних кондитерських виробів / Т. М. Лозова // Вісник ЛПТЕУ. Технічні науки. — 2017. — № 18. — С. 72—75.
17. Дорохович, А. М. Цукри, оцінка їх якості та використання при виробництві кондитерських виробів спеціального призначення/ А. М. Дорохович, О. О. Кохан// Нові ідеї в харчовій науці — нові продукти харчової промисловості: Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій. — К.: НУХТ, 2014. — С. 61.

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕГЛАЗИРОВАННЫХ КОНФЕТ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ САХАРОВ ЛАКТОЗЫ И ФРУКТОЗЫ В ТЕЧЕНИЕ ИХ ХРАНЕНИЯ

О. С. Дорожинская, Е. А. Кохан

Национальный университет пищевых технологий

В статье представлены результаты исследований изменения физико-химических и структурно-механических свойств неглазированных помадных конфет, изготовленных при полной замене сахара белого кристаллического на комбинацию сахаров лактозы и фруктозы при их хранении. Для достижения поставленных целей были использованы стандартные физико-химические, структурно-механические методы исследований, применен эксикаторный метод для исследования сорбционных свойств образцов конфет, определен показатель активности воды в разработанных изделиях.

Результаты исследований показали, что использование фруктозы в комбинации с лактозой оказывает положительное влияние на сохранение качества помадных конфет в процессе хранения. Согласно полученным результатам установлено, что значения активности воды, показателя усыхания и пластической прочности разработанного образца ниже по сравнению с контрольным образцом помадных конфет, изготовленных на сахарозе. В разработанном образце наблюдается

замедление процесса десорбции изделий, о чем свидетельствуют результаты анализа сорбционных свойств изучаемых образцов.

Использование комбинации сахаров лактозы и фруктозы в технологии неглазированных конфет кристаллической структуры расширяет ассортимент кондитерской продукции с низким показателем гликемичности, а сами изделия лучше контроля сохраняют свои первоначальные качественные характеристики.

Ключевые слова: помадная масса, лактоза, фруктоза, влагоудерживающий агент, кристаллизация, структурно-механические свойства, показатель активности воды, срок хранения.

УДК 664.1.033

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF RAW JUICE DRAFT IN EXTRACTORS ON THE PROFITABILITY OF BEET-SUGAR PRODUCTION

M. Maslikov, M. Maslikov, V. Petrenko, V. Boiko*National University of Food Technologies***Key words:**

extractor,
mass transfer,
sugar losses,
raw juice draft

Article history:

Received 09.11.2021
Received in revised form
12.11.2021
Accepted 19.11.2021

Corresponding author:

mmaslikov@gmail.com

ABSTRACT

Increase in water supply for extraction with a corresponding increase in raw juice draft is the main method to reduce sugar losses in the pulp. But this method has negative effects: reducing of sucrose crystallization efficiency, increasing costs for juice purification, heating and concentrating. Total profitability from draft increasing may increase or decrease, so we can discuss the optimal draft value. In this article, mathematical model is developed to calculate the optimal draft value for minimization the total operating costs. This model calculates the sugar losses in the pulp with equation, obtained the updated data on mass transfer during sugar extraction from beet cassettes. Mass transfer in the extractor between beet chips and extractant is analyzed with using the mass conductivity coefficient in solid phase systems. The proposed model also takes into account the presence of pulp pressing and returning the required amount of pulp water to the extractor.

Factors influencing the efficiency of sucrose extraction are analyzed: sugar loss in the pulp, transition of sucrose to white sugar and to molasses, as well as transition of non-sugars to raw juice. The main technical and economic indicators are determined, which are significantly affected by the changes in draft.

Computer model, based in expected profit of beet sugar production, is developed to calculate the optimal draft value and the optimal sugar losses in the pulp for certain conditions. This model allows to predict the profitability of beet sugar production depending on the conditions of the manufacturing processes and on the prices for goods that affect income and expenses. Examples of calculations of the optimal draft and the expected change in profitability are presented.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-5

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІДБОРУ СОКУ У ДИФУЗІЙНИХ АПАРАТАХ НА ПРИБУТКОВІСТЬ БУРЯКОЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА

М. О. Масліков, канд. техн. наук

М. М. Масліков, канд. техн. наук

В. П. Петренко, д-р техн. наук

В. О. Бойко, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведені результати визначення впливу відбору соку у дифузійних апаратах на прибутковість бурякоцукрового виробництва. Виконано аналіз чинників, що впливають на ефективність висолоджування бурякової стружки, втрати цукрози в жомі, перехід у сік нецукристих речовин, а також цукрози в білий цукор і мелясу. Розроблено модель процесу та програму розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку. За критерій оптимізації прийнято очікувану зміну прибутку виробництва цукру. Ця модель дає змогу прогнозувати прибутковість виробництва цукру з буряка залежно від умов виробництва і кон'юнктури цін на товари, що впливають на доходи і видатки виробництва. Наведені приклади розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку й очікуваної зміни прибутковості.

Ключові слова: екстракція, масообмін, втрати цукру, коефіцієнт відбору.

Постановка проблеми. Важливою проблемою бурякоцукрового виробництва є зменшення втрат цукрози. Найвагомішою є втрата під час екстрагування бурякової стружки у дифузійній установці, тобто та частина цукрози, що залишається в жомі. Вона характеризує ефективність екстракції, впливаючи на вихід товарного цукру і прибутковість його виробництва. Основним засобом зменшення зазначеної втрати вважалось додаткове вилучення цукрози внаслідок збільшення відбору дифузійного соку. Але це рішення має негативні наслідки, зокрема:

- знижується енергоефективність виробництва цукру, бо зменшення концентрації сухих речовин і збільшення витрати дифузійного соку підвищують потреби в енергії на його перекачування, нагрівання та концентрування;

- разом з цукрозою додатково вилучаються нецукристі речовини, що збільшує видатки на очищення продуктів виробництва, погіршує кристалізацію цукрози і сприяє переходу цукрози у мелясу.

Отже, існує оптимальне значення відбору дифузійного соку і відповідна величина втрати цукрози у жомі, визначення яких дозволяє забезпечити виробництво цукру з максимальною прибутковістю.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Світова тенденція підвищення ефективності екстракції бурякоцукрового виробництва полягає в експлуатації дифузійних апаратів за низьких відборів дифузійного соку високої чистоти [1]. Це досягається збільшенням часу екстракції, глибоким пресуванням жому і використанням для екстракції жомопресової води. Це дозволяє вилучити до 98% вмісту цукрози та зменшує споживання енергії.

Аналіз роботи заводів Schweizer Zucker AG у Фрауенфельді і Аарбергу з 2000 до 2014 року [2], де експлуатуються дифузійні апарати ВМА, показав, що після встановлення апаратів з вищими колонами, де час перебування стружки довший, відбір соку зменшився з 109—110% до 102%, а втрати цукрози у жомі — з 0,36—

0,43% до 0,28%. При цьому збільшився вихід цукру і зменшилося споживання енергії з 1132 до 1043 кВт·год/т цукру.

Втрати цукрози в жомі залежно від величини відбору дифузійного соку розраховують, користуючись відомим рівнянням, яке отримане вченими ВНДЦП [3] на основі універсального рівняння процесу дифузії.

Важливо знати, як розподіляється додатково екстрагована цукроза між білим цукром і мелясою, бо це впливає на техніко-економічні показники виробництва. Ф. Т. Тешнер [4], узагальнивши дослідні дані цього розподілу, отримав рівняння для розрахунку вмісту цукрози в мелясі залежно від ступеня висолоджування.

У [5] наведені залежності для оцінювання виробничих показників роботи цукрового виробництва за зміни відбору дифузійного соку. За їх допомогою визначені показники виробництва при зміні цього показника від 120% до 135% і наведені графіки впливу відбору на додаткову економію при зменшенні втрат цукрози у жомі.

Автори [6] запропонували оптимізаційну математичну модель для прогнозування роботи колонного дифузійного апарата у стаціонарному режимі. Модель визначає оптимальні значення втрати цукрози в жомі та властивостей дифузійного соку. Параметрами, що регулюються, є: відбір соку, час перебування чи довжина колони. Цільовою функцією, що мінімізується, є сумарні видатки на екстракцію, які включають вартості: колони; цукру, втраченого з жомом; пари для випарювання води з соку.

Автори [7] для комплексної кількісної оцінки різних типів дифузійних установок використали техніко-економічне моделювання процесів. За цільову функцію вони вибрали видатки виробництва, пов'язані з втратами цукрози у жомі, з мелясою, з витратою теплоти на дифузійний апарат, підігрівання соку до випарної установки, випарювання соку на випарній установці, з витратою вапнякового молока на очищення дифузійного соку, а також з витратою електроенергії на роботу основного обладнання і перекачування соку.

Втрати цукрози у жомі залежать від інтенсивності масообміну між буряковою стружкою й екстрагентом. Автори [8] доводять, що точніше описує цей процес механізм масообміну в системах з твердою фазою (утруднена дифузія), обґрунтовуючи використання для розрахунку втрат коефіцієнта масопровідності k_m .

У [9] запропоновано визначати ефективність роботи дифузійної установки у залежності не тільки від інтенсивності теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, що відбуваються під час екстракції, а й від техніко-економічних показників. Також була розроблена модель і комп'ютерна програма «Провід» [10], яка дозволяє розраховувати значення оптимального відбору дифузійного соку і додаткову економію при переході на роботу з цим відбором.

Оскільки отримані нові дані про механізм екстракції у дифузійних апаратах, модель процесу потребує розвитку й уточнення.

Мета дослідження: розробити модель екстракції у дифузійних апаратах та програму розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку і втрати цукрози в жомі, що забезпечують максимальну прибутковість за різних інтенсивностей теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, ринкових цін на продукцію цукрового виробництва, енергоносії та вапняковий камінь.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є дифузійна установка бурякоцукрового виробництва. Встановлено чинники, що впливають на втрати цукрози в жомі та відбір соку, та отримано залежності для їх розрахунку. Створено математичну

модель об'єкта і програму розрахунку оптимального значення відбору дифузійного соку і втрати цукрози у жомі для різних умов виробництва.

Результати дослідження. Для визначення оптимального відбору дифузійного соку необхідно знати розподіл додатково вилученої цукрози між білим цукром і мелясою та оцінити ефективність зміни величини відбору з урахуванням отриманого розподілу цукрози і додаткової витрати палива на нагрівання і випаровування продуктів.

Для визначення кількості додатково вилученої цукрози, що перейшла у мелясу, скористаємося рекомендацією [5]:

$$\Delta CX_M(\alpha_{дс1}) = \left\{ [ДГ - X_{бд} - X_1(\alpha_{дс1})] \cdot \frac{1 - \chi_{21}(\alpha_{дс1})}{\chi_{21}(\alpha_{дс1})} - (ДГ - X_{бд} - X_0) \times \dots \right. \\ \left. \dots \times \frac{1 - \chi_{21}}{\chi_{21}} \right\} \cdot \frac{\chi_M}{1 - \chi_M}, \quad (1)$$

де ДГ — вміст цукрози у буряковій стружці, %; $X_{бд}$ — втрати цукрози у виробництві після дифузійної установки до меляси, %; $X_1(\alpha_{дс1})$ — величина втрат цукрози в жомі за зміни коефіцієнта відбору дифузійного соку, %; $\chi_M, \chi_{21}(\alpha_{дс1})$ — чистота, відповідно, меляси і соку 2-ї сатурації при висолоджуванні бурякової стружки до втрат X_1 після зміни коефіцієнта відбору до $\alpha_{дс1}$, %:

$$\chi_{21}(\alpha_{дс1}) = \frac{\chi_{2сф} + X_0 - X_1(\alpha_{дс1})}{\chi_{2сф} + \frac{(X_0 - X_1(\alpha_{дс1}))^2}{f(\alpha_{дс1})}}, \quad (2)$$

де $\chi_{2сф}$ — вміст цукрози у соці 2-ї сатурації за втрат X_0 тобто до зміни коефіцієнта відбору до $\alpha_{дс1}$, %; $f(\alpha_{дс1})$ — інтеграл Тешнера [4], що дозволяє визначити середню чистоту соку 2-ї сатурації, отриманого з дифузійного соку під час висолоджування стружки у діапазоні втрат $X_0 \dots X_1$:

$$f(\alpha_{дс1}) = -0,492 \left[X_0^5 - X_1(\alpha_{дс1})^5 \right] + 4,45 \left[X_0^4 - X_1(\alpha_{дс1})^4 \right] - 16,233 \left[X_0^3 - \dots \right. \\ \left. \dots - X_1(\alpha_{дс1})^3 \right] + 31,85 \left[X_0^2 - X_1(\alpha_{дс1})^2 \right] + 54,3 \left[X_0 - X_1(\alpha_{дс1}) \right]. \quad (3)$$

Втрати цукрози у жомі за зміни величини відбору дифузійного соку пропонуємо визначати за рівнянням, отриманим на основі перетвореного універсального рівняння процесу дифузії [3]. Новизна рівняння полягає у врахуванні уточнених даних щодо масопровідності під час екстракції цукрози з бурякової стружки [8] та впливу на інтенсивність процесу додаткових чинників: чистоти клітинного соку; структури стружки; нелінійності масовіддачі від довжини ста грамів бурякової стружки; тривалості екстракції. Рівняння враховує також пресування жому та повернення у дифузійний апарат для екстракції потрібної кількості жомпресової води:

$$X_1(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{19 \left[1 - \frac{n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}}}{(m_{\text{жв}} + m_{\text{ж}}) \cdot \beta_0} \right] \cdot \text{Дг}^2 \cdot (\alpha_{\text{дс1}} - \beta_0)}{\left(\alpha_{\text{дс1}} - n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}} \cdot \beta_0 \right) \cdot e^{35,5 \cdot \varphi \cdot k_{\text{м}} \cdot t_{\text{диф}} \cdot \frac{(\alpha_{\text{дс1}} - \beta_0)}{R^2 \cdot \alpha_{\text{дс1}} \cdot t_{\text{диф}}}} - \beta_0 + n_{\text{ж}} \cdot k_{\text{жв}} \cdot m_{\text{жв}} \cdot \beta_0}$$

де $n_{\text{ж}}$ — ознака пресування жому; $m_{\text{ж}}$ — вихід жому, %;

$$m_{\text{ж}} = \frac{m_{\text{м}} + X_0 + a_{\text{д}} \cdot \text{НЦ}_{\text{нс}}}{b_{\text{ж1}}}, \quad (5)$$

де $a_{\text{д}}$ — кількість нецукрів, що залишилася у жомі, % від вмісту розчинних нецукрів; $\text{НЦ}_{\text{нс}}$ — вміст розчинних нецукрів у нормальному соці, %:

$$\text{НЦ}_{\text{нс}} = \frac{(\text{Дг} - X_0 - X_{01})(1 - \text{Ч}_{\text{дс}})}{(1 - a_{\text{д}}) \cdot \text{Ч}_{\text{дс}}}; \quad (6)$$

де $k_{\text{жв}}$ — частина жомопресової води, що повертається у дифузійний апарат; $m_{\text{жв}}$ — вихід жомопресової води, %:

$$m_{\text{жв}} = \frac{m_{\text{ж}} (b_{\text{ж1}} - b_{\text{ж}})}{b_{\text{ж1}}}, \quad (7)$$

де $b_{\text{ж}}$, $b_{\text{ж1}}$ — концентрація сухих речовин у жомі, відповідно, до і після пресування, %; β_0 — вміст соку в буряках, %; φ — коефіцієнт використання дифузійного потоку; $k_{\text{м}}$ — коефіцієнт масопровідності (утрудненої дифузії) в системах з твердою фазою [8], м²/с:

$$k_{\text{м}} = D_t \cdot \varepsilon_{\text{ч}} \cdot \varepsilon_{\text{с}} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_{\text{т}}, \quad (8)$$

де D_t — коефіцієнт дифузії, м²/с:

$$D_t = e^{3,13 \text{ Дг} - 15,411 - \frac{1985,2 + 15,354 \cdot \text{Дг}}{T_{\text{диф}}}}, \quad (9)$$

$T_{\text{диф}}$ — температура, за якої визначається коефіцієнт дифузії:

$$T_{\text{диф}} = t_{\text{диф}} + 273,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

$\varepsilon_{\text{ч}}$ — поправка на чистоту клітинного соку:

$$\varepsilon_{\text{ч}} = \text{Ч}_{\text{дс}}^{0,0422 \cdot \text{Дг}}, \quad (11)$$

де $\text{Ч}_{\text{дс}}$ — чистота дифузійного соку;

$\varepsilon_{\text{с}}$ — поправка, що характеризує структуру стружки, на яку впливають сорт і стиглість буряка, якість роботи ошпарювача тощо, $\varepsilon_{\text{с}} = 0,75$;

ε_l — поправка на нелінійність залежності масовіддачі від довжини l ста грамів бурякової стружки:

$$\varepsilon_l = \sqrt{2,3 - 1,3 \cdot \log l} ; \quad (12)$$

ε_τ — поправка на тривалість процесу екстракції:

$$\varepsilon_\tau = 1 - b(\ln \tau_0 - 1) \quad (13)$$

де b — коефіцієнт, що враховує якість буряку, конструктивні особливості і режим роботи дифузійної установки, для орієнтовних підрахунків $b = 0,0916$; τ_0 — час екстрагування, $\tau_0 = 3600$ с.

Кількість цукрози, висолодженої зі стружки додатково, %:

$$\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}) = X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (14)$$

Додаткова кількість цукрози, що перейшла у білий цукор, %:

$$\Delta CX_{\text{бц}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}) - \Delta CX_{\text{м}}(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (15)$$

Економічна оцінка впливу зміни відбору, грн [9]:

$$\begin{aligned} \text{ЕК}(\alpha_{\text{дс1}}) = & [\Delta C_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{бц}} + \Delta M_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{м}} + \Delta J_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{ж}}] - \dots \\ & \dots - [\Delta \alpha_{\text{пу}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{уп}} + \Delta \alpha_{\text{п.вв}}(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{пв}} + \Delta BK(\alpha_{\text{дс1}}) \cdot C_{\text{вк}}], \end{aligned} \quad (16)$$

де $\Delta C_{\text{т}}(\alpha)$, $\Delta M_{\text{т}}(\alpha)$, $\Delta J_{\text{т}}(\alpha)$ — зміни виходу, відповідно, товарного цукру, товарної меляси, жому; $\Delta \alpha_{\text{пу}}(\alpha)$, $\Delta \alpha_{\text{п.вв}}(\alpha)$, $\Delta BK(\alpha)$ — зміни витрат, відповідно, умовного палива, вапняку, палива для випалювання вапняку; $C_{\text{бц}}$, $C_{\text{м}}$, $C_{\text{ж}}$, $C_{\text{уп}}$, $C_{\text{п.вв}}$, $C_{\text{вк}}$ — ціни, відповідно, товарного цукру, товарної меляси, жому, умовного палива, палива для випалювання вапнякового каменю, вапняку.

Вміст сухих речовин у сульфатованому соці, отриманий за додаткового відбору, %:

$$\Delta CP_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{f(\alpha_{\text{дс1}})}. \quad (17)$$

Додаткова витрата соку, що надходить на ВУ, %:

$$\Delta \alpha_{\text{сф}} = \Delta \alpha_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \alpha_{\text{дс1}} - \alpha_{\text{дс}}. \quad (18)$$

Додаткова витрата вапна, необхідного на очищення соку, %:

$$\Delta CaO(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{B \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta \alpha_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}})}{B - C_{\text{в}}}, \quad (19)$$

де B , $C_{\text{в}}$ — масовий вміст CaO , відповідно, у вапняковому молоці і у дефекованому соці, %.

Додаткова витрата води, що надходить у сік з вапняним молоком, %:

$$\Delta B_{\text{вм}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{\rho_{\text{вм}}^{-r}}{r} \cdot \Delta CaO(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (20)$$

де r — вміст CaO у вапняковому молоці, кг/л.

Витрата пари, необхідної для випаровування додаткової кількості води, %:

$$\Delta\alpha_{\text{п}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \left[\Delta\alpha_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) \left(1 - \frac{\Delta\text{СР}_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}})}{\text{СР}_{\text{у1}}} \right) + \Delta\text{В}_{\text{вм}}(\alpha_{\text{дс1}}) \right] \cdot \text{К}_{\text{ву}}, \quad (21)$$

де $\text{К}_{\text{ву}}$ — коефіцієнт кратності випаровування у випарній установці.

Додаткова витрата палива, %:

$$\Delta\alpha_{\text{пу}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{r_{\text{п}} \cdot \Delta\alpha_{\text{п}}(\alpha_{\text{дс1}})}{\eta_{\text{ку}} \cdot Q_{\text{ку}}}. \quad (22)$$

Додатковий вихід товарної меляси, %:

$$\Delta\text{М}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \{ \Delta\text{СХ}_{\text{м}}(\alpha_{\text{дс1}}) + \Delta\text{СХ}_{\text{сф}}(\alpha_{\text{дс1}}) - [X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})] \} / \text{СР}_{\text{мт}}, \quad (23)$$

де $\text{СР}_{\text{мт}}$ — вміст сухих речовин у товарній мелясі, %.

Додатковий вихід товарного цукру, %:

$$\Delta\text{Ц}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \Delta\text{СХ}_{\text{бц}}(\alpha_{\text{дс1}}) / \text{СХ}_{\text{бц}}, \quad (24)$$

де $\text{СХ}_{\text{бц}}$ — вміст цукрози у білому цукрі, %.

Додаткова витрата вапняку та палива на його випалювання, %:

$$\Delta\text{ВК}(\alpha_{\text{дс1}}) = \text{К}_{\text{вк}} \cdot \Delta\text{СаО}(\alpha_{\text{дс1}}); \quad (25)$$

$$\Delta\alpha_{\text{п.вв}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \text{К}_{\text{п.вв}} \cdot \Delta\text{ВК}(\alpha_{\text{дс1}}), \quad (26)$$

де $\text{К}_{\text{вк}}$ — коефіцієнт перерахунку вапна у вапняк; $\text{К}_{\text{п.вв}}$ — питома витрата умовного палива на випалювання вапняку %.

Додатковий вихід товарного жому, %:

$$\Delta\text{Ж}_{\text{т}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{\text{СР}_{\text{жт}} \cdot \int_2(\alpha_{\text{дс1}})}, \quad (27)$$

де $\int_2(\alpha_{\text{дс1}})$ — інтеграл Тешнера [4]:

$$\int_2(\alpha_{\text{дс1}}) = \left\{ -0,428 [X_0^5 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^5] + 4,0375 [X_0^4 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^4] - \dots \right. \quad (28)$$

$$\left. \dots - 15,5 [X_0^3 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^3] + 32,0 [X_0^2 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})^2] + 48,2 [X_0 - X_1(\alpha_{\text{дс1}})] \right\}.$$

Додаткова кількість нецукрів, що переходять в дифузійний сік, %:

$$\Delta\text{НС}_{\text{дс}}(\alpha_{\text{дс1}}) = \frac{(\Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}))^2}{\int_2(\alpha_{\text{дс1}})} - \Delta X_1(\alpha_{\text{дс1}}). \quad (29)$$

З використанням наведених вище залежностей розроблена і реалізована у системі символічної математики MathCAD комп'ютерна модель. Вона дозволяє визначити оптимальний відбір дифузійного соку і відповідну втрату цукрози у жомі залежно від інтенсивності теплових, гідродинамічних і хімічних процесів, що відбуваються під час процесу дифузії, а також від вартості продукції (цукру, жому і м'яси), палива для ТЕЦ, вапняку та палива для його випалювання.

За критерій оптимізації взята величина $\Delta\Pi(\alpha_{дс1})$, яка відповідає очікуваній зміні прибутку при переході на оптимальний режим роботи. Позначивши добутки у квадратних дужках виразу (16) відповідними прибутками від збуту продукції та найсуттєвішими видатками після переходу на режим роботи з оптимальним відбором дифузійного соку, отримуємо:

$$\Delta\Pi(\alpha_{дс1}) = \sum \Delta\Pi_i - \sum \Delta B = [\Delta\Pi_{ц}(\alpha_{дс1}) + \Delta\Pi_{м}(\alpha_{дс1}) + \Delta\Pi_{ж}(\alpha_{дс1})] - \dots \quad (30)$$

$$\dots - [\Delta B_{уп}(\alpha_{дс1}) + \Delta B_{пв}(\alpha_{дс1}) + \Delta B(\alpha_{дс1})].$$

Нижче наведені результати розрахунку за таких значень показників виробництва: $Dг=17,2\%$; дифузійна установка коритного типу; ϵ пресування жому ($b_{ж}=6,5\%$; $b_{ж1}=26\%$) і повернення жомопресової води у дифузійний апарат; $\alpha_{дс}=1,25$; $X_0=0,26\%$; $X_{01}=0,14\%$; $Ч_{дс}=86,9\%$. Ціни відповідають таким, що склалися на ринку у 2021 році.

Збільшення коефіцієнта відбору $\alpha_{дс1}$ (рис. 1) сприяє зменшенню втрат цукрози у жомі X_1 і екстракції додаткової кількості цукрози ΔX . За результатами розрахунку надходження цукрози у м'ясу ΔCX_M збільшується, а у білий цукор $\Delta CX_{бц}$ — збільшується лише до $\alpha_{дс1}=1,3$, а далі — перехід цукрози продовжується лише у м'ясу.

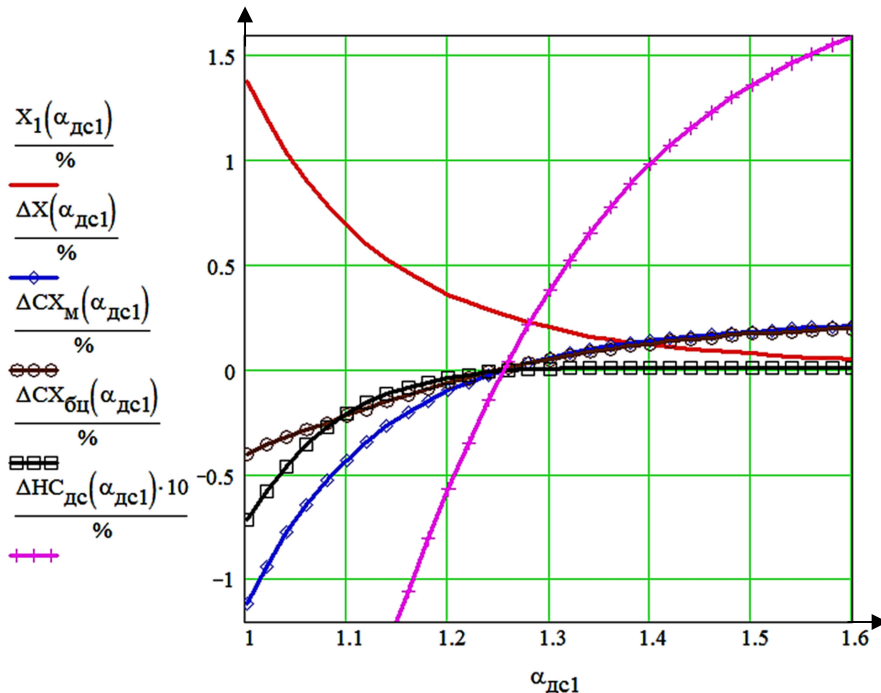


Рис. 1. Залежність основних показників екстракції та додаткової кількості цукрози, що перейшла в м'ясу і в білий цукор, від коефіцієнта відбору дифузійного соку

Зі збільшенням коефіцієнта відбору дифузійного соку $\alpha_{дс1}$ відбувається додатковий вихід меляси, а також додаткова витрата палива для парових котлів, вапняка і палива для його випалювання (рис. 2). Зміна додаткового виходу товарного цукру відповідає динаміці переходу додаткової кількості цукрози у білий цукор (рис. 1).

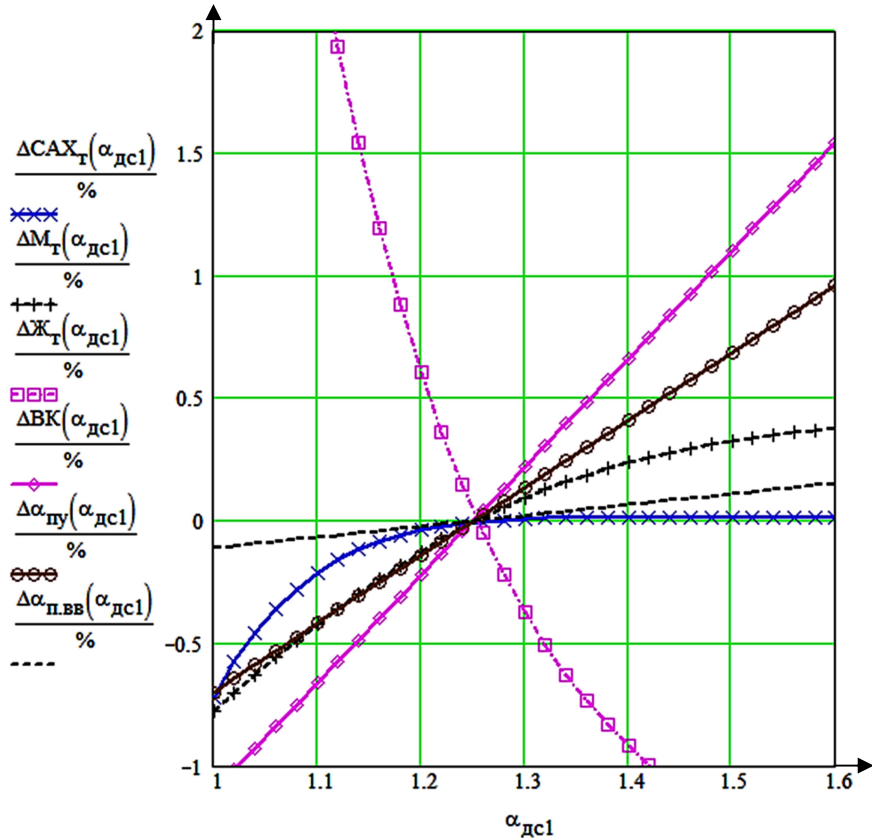


Рис. 2. Вплив коефіцієнта відбору дифузійного соку на зміну виходу продуктів виробництва і додаткову витрату палива та вапняку

На рис. 3 наведена залежність очікуваної зміни прибутку виробництва цукру $\Delta\Pi$ та його основних складових від коефіцієнта відбору дифузійного соку. Максимум функції $\Delta\Pi(\alpha_{дс1})$ відповідає коефіцієнту відбору $\alpha_{дс1} = 1,10$ і втратам цукрози в жомі $X_1 = 0,707\%$ (рис. 1), які для прийнятого режиму роботи є оптимальними. За таких умов очікувана зміна прибутку становить 48 грн/т буряку.

Модель дозволяє прогнозувати прибутковість виробництва цукру за зміни показників виробництва, що на них впливають, а також ринкових цін на вироблену продукцію, вапняк та енергоносії. У табл. 1 наведені розрахункові значення оптимального коефіцієнта відбору для прийнятих вище показників виробництва і зміни цін на білий цукор і природний газ.

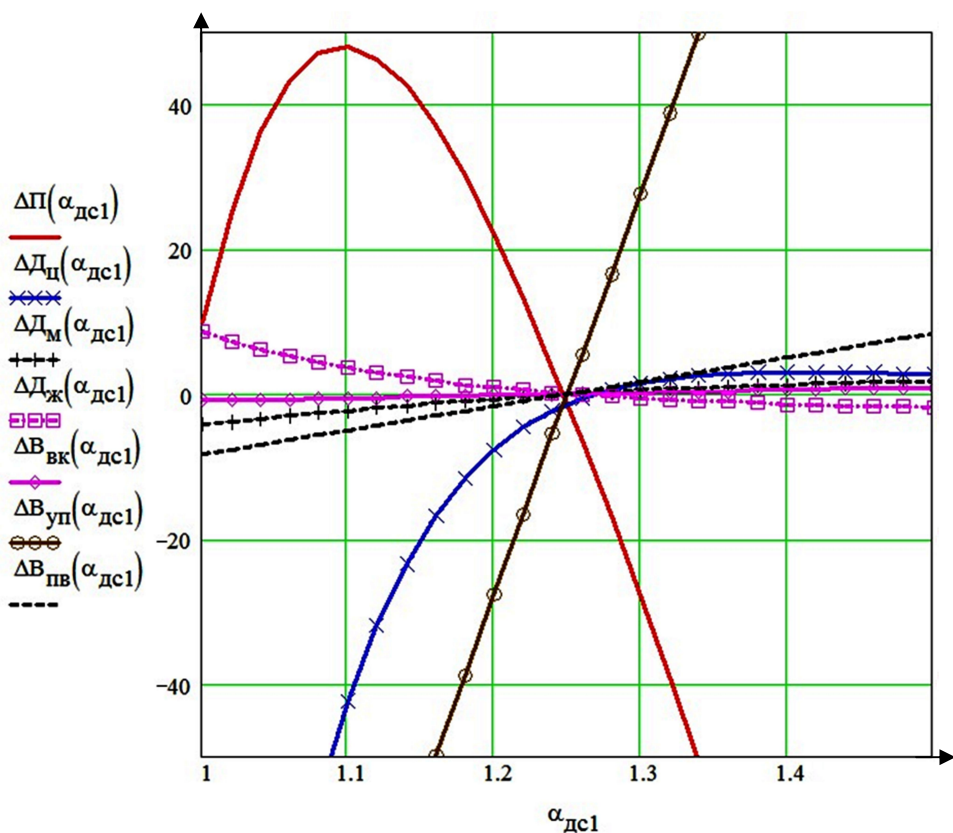


Рис. 3. Залежність очікуваної зміни прибутку виробництва цукру, його основних статей доходу і витатків, грн/т буряку, від коефіцієнта відбору дифузійного соку

Таблиця 1. Оптимальні значення коефіцієнта відбору дифузійного соку, кг дифузійного соку/кг буряку, за різних цін на природний газ і цукор

| Ціна цукру, грн./т | Ціна природного газу, грн./тис. м ³ | | | | | | | | |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10000 | 12500 | 15000 | 17500 | 20000 | 22500 | 25000 | 27500 | 30000 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 10000 | 1,09 | 1,07 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | – | – | – |
| 12500 | 1,11 | 1,09 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1,00 |
| 15000 | 1,13 | 1,11 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 |
| 17500 | 1,14 | 1,12 | 1,11 | 1,10 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,04 |
| 20000 | 1,15 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,10 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 |
| 22500 | 1,16 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,10 | 1,09 | 1,08 | 1,07 |
| 25000 | 1,17 | 1,15 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,10 | 1,09 | 1,08 |
| 27500 | 1,18 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,10 | 1,09 |
| 30000 | 1,18 | 1,17 | 1,16 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,11 | 1,10 |

Для тих же умов виробництва очікувана зміна прибутку для прийнятих цін на цукор і природний газ наведена у табл. 2.

Таблиця 2. Очікувана зміна прибутку, грн/т буряку, за різних цін на природний газ і цукор

| Ціна цукру, грн/т | Ціна природного газу, грн/тис. м ³ | | | | | | | | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10000 | 12500 | 15000 | 17500 | 20000 | 22500 | 25000 | 27500 | 30000 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 10000 | 28 | 40 | 53 | 67 | 83 | 99 | 117 | 135 | 154 |
| 12500 | 22 | 33 | 44 | 57 | 71 | 85 | 101 | 117 | 134 |
| 15000 | 18 | 27 | 38 | 49 | 61 | 75 | 89 | 103 | 119 |
| 17500 | 15 | 23 | 32 | 43 | 54 | 66 | 79 | 92 | 106 |
| 20000 | 12 | 20 | 28 | 38 | 48 | 59 | 71 | 83 | 96 |
| 22500 | 10 | 17 | 24 | 33 | 43 | 53 | 64 | 76 | 88 |
| 25000 | 8 | 14 | 21 | 29 | 38 | 48 | 58 | 69 | 81 |
| 27500 | 6 | 12 | 19 | 26 | 34 | 43 | 53 | 63 | 74 |
| 30000 | 5 | 10 | 16 | 23 | 31 | 39 | 48 | 58 | 68 |

Висновки. Розроблена модель дифузійного процесу та програма розрахунку оптимального коефіцієнта відбору дифузійного соку і втрати цукрози у жомі. Новизна моделі полягає у представленні дифузійного процесу між буряковою стружкою і екстрагентом як масопровідності (утрудненої дифузії) у системах з твердою фазою. Такий підхід дозволяє враховувати додатково вплив наступних чинників: чистоту клітинного соку; структуру стружки; нелінійність масовіддачі від довжини ста грамів бурякової стружки; тривалість екстракції; пресування жому та повернення у дифузійний апарат потрібної кількості жомопресової води. За критерій оптимізації прийнято очікувану зміну прибутку виробництва цукру. Ця модель дає змогу прогнозувати прибутковість виробництва цукру з буряка залежно від техніко-економічних умов виробництва і кон'юнктури цін на товари, що впливають на доходи і видатки виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

- Schulze T. Low draft extraction towers Energy and loss aspects. / R. Hempelmann // 38th Biennial Meeting of the American Society of Sugar Beet Technologists. Clearwater Beach, Florida, USA 23—27 February 2015. — 2015. — P. 189—192.
- Schulze T. A look at technological and technical tower extraction trends / T. Schulze, A. Lehnberger, J. Pfauntsch, T. Frankenfeld // Sugar industry / Zuckerindustrie. — 2015. — (12). — P. 748—752.
- Коваль, Е. Т. Преобразованное универсальное уравнение процесса диффузии / Е. Т. Коваль, А. Я. Загоруйко, Я. Н. Таварткиладзе // Труды ВНИИСП // 1964. — Вып. 12. — С. 71—77.
- Тешнер Ф. Т. Возможности применения математических методов в сахарной промышленности. // «Libinsmittelindustrie» — 14. — 1967. — Н-8. — С. 297-299 и Н-9. — С. 340—342.
- Ерёмченко, Б. А. Оценка влияния величины откачки диффузионного сока на производственные показатели работы сахарного завода / Б. А. Ерёмченко, К. Ф. Гербут, А. Ф. Кравчук // Цукор України. — № 3. — 2001. — С. 18—20.
- Sotudeh-Gharebagh R. Modeling and Optimization of the Sugar Extraction Process / H. Shamekhi, N. Mostoufi, H. R. Norouzi // International Journal of Food Engineering. — 2009. — Vol. 5 Iss. 4, Art. 13 <http://www.bepress.com/ijfe/vol5/iss4/art13>. — DOI: 10.2202/1556-3758.1398.
- Валовой Б. Н. Комплексная оценка основных типов диффузионных установок свеклосахарного производства / С. Л. Филатов, С. М. Петров, Н. М. Подгорнова, В. И. Тужилкин // Сахар. — 2016. — № 11. — С. 24—31.
- Сінат-Радченко Д. С. Про коефіцієнт масопровідності бурякової стружки / М. М. Пушанко, С. М. Василенко, М. О. Масліков // Наукові праці УДУХТ. — 2001. — № 10, Ч. III. — С. 27—28.
- Гербут К. Ф. Програмний пакет для техніко-економічної оцінки роботи сокодобувного відділення цукрового виробництва / М. О. Масліков, М. О. Прядко, О. Т. Сторожук, Л. М. Хомічак // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. — 1998. — № 1—2. — С. 37—38.

10. Масліков, М. О. Оптимальна відкачка дифузійного соку та її визначення / М. О. Масліков, М. М. Масліков // Наукові праці НУХТ. — 2003. — № 14. — С. 38—39.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТБОРА СОКА В ДИФфуЗИОННЫХ АППАРАТАХ НА ПРИБЫЛЬНОСТЬ СВЕКЛОСАХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М. О. Масликов, М. М. Масликов, В. П. Петренко, В. А. Бойко

Национальный университет пищевых технологий

В статье представлены результаты определения влияния отбора сока в диффузионных аппаратах на прибыльность свеклосахарного производства. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность высушивания свекловичной стружки, потери сахара в жоме, переход в сок несхаристых веществ, а также сахарозы в белый сахар и в мелассу. Определены основные технико-экономические показатели производства, на которые оказывает существенное влияние изменение отбора диффузионного сока. Разработана модель процесса и программа расчета отбора диффузионного сока, при котором потери сахара в жоме оптимальны для конкретных условий производства. За критерий оптимизации принято ожидаемое изменение прибыли производства сахара. Эта модель позволяет определять значение оптимального коэффициента отбора диффузионного сока и прогнозировать прибыльность производства сахара из свеклы в зависимости от условий производства и конъюнктуры цен на товары, влияющие на доходы и издержки производства. Приведены примеры расчетов оптимального коэффициента отбора диффузионного сока и ожидаемого изменения прибыльности.

Ключевые слова: экстракция, массобмен, потери сахара, коэффициент отбора.

УДК 66.099.73

ADDITIVE SUBSTANCES OF VEGETABLE OILS AND METHODS FOR THEIR EXPOSURE

A. Demydova*National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute"***Y. Shemanska***National University of Food Technologies*

Key words:

deodorization,
volatile organic
compounds,
vegetable oils,
ketones,
aldehydes

Article history:

Received 29.10.2021

Received in revised form
08.11.2021

Accepted 11.11.2021

Corresponding author:

ademidova2016@
gmail.com

ABSTRACT

The formation of toxic components, high energy consumption at the stage of deodorization, the need to use complex equipment that works with a deep vacuum (2—4 mbar) — all these are factors that require the search for alternative methods of deodorizing fats.

A significant decrease in the deodorization temperature requires a fundamentally new approach to the removal of volatile organic compounds. The article provides data on the content of volatile compounds in oils of various types. The features of a common set of odorizing substances for vegetable oils are considered and varieties of odorizing substances are identified, which can act as individual characteristics of the most common types of oils. Substances such as low molecular weight alcohols, fatty acids, carbohydrates, furans, etc., are characterized by rather high thresholds of perception and do not significantly contribute to the sensation of taste and smell of fats. Aldehydes, with their low thresholds for perception, are the main volatile compounds of fats. The data on the complete deodorization of sunflower oil as a result of its treatment with alcohol in the presence of an acid catalyst have been obtained. The likely reaction between alcohol and oil aldehydes produces more volatile acetals. The possibility of a controlled effect on the organoleptic characteristics of soybean oil has also been proven.

Methods of deodorizing can preserve the performance of polygons with high quality indicators of quality and safety. The ratio of refining can be changed due to the presence of lower temperatures and the reduction of the temperature to the possession.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-6

ОДОРУЮЧІ РЕЧОВИНИ РОСЛИННИХ ОЛІЙ І МЕТОДИ ЇХ ВИЛУЧЕННЯ

А. О. Демидова, канд. техн. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Є. І. Шеманська, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті надані сучасні дані щодо складу одоруючих речовин різних типів рослинних олій. Розглянуто особливості спільного для рослинних олій набору одоруючих речовин і виділено їх різновиди, які можуть виступати індивідуальними характеристиками найбільш розповсюджених видів олій. Доведено можливість хімічного дезодорування рослинних олій — принципово нового підходу до видалення одоруючих речовин. Спосіб заснований на взаємодіях між альдегідами та спиртами з утворенням більш летких ацеталей. Одержано повністю дезодоровані зразки соняшникової олії. Доведено можливість контрольованого впливу на органолептичні показники соєвої олії.

Ключові слова: дезодорування, одоруючі речовини, рослинні олії, кетони, альдегіди.

Постановка проблеми. Дезодорування — це процес вилучення одоруючих речовин, при якому задається кількість діючого агента (зазвичай, пара), який протягом певного періоду часу пропускається через гарячий жир під низьким тиском [1]. У технології перероблення жирів цей процес застосовується з метою знеособлення жирів — вилучення з їх складу компонентів, що відповідають за смак і запах.

Окрім одоруючих речовин, у результаті дезодорування видаляються також інші, більш леткі, порівняно з триацилгліцеридами, компоненти жирів: жирні кислоти, токофероли, стерини та забруднювачі, такі як пестициди й поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ) тощо. Високі температури, які вимушено застосовують під час дезодорування (180—250°C), призводять до термічного руйнування пігментів (так званого теплового відбілювання), відбувається утворення небажаних токсичних речовин — транс-жирних кислот, ефірів гліцидолу та складних ефірів 3-монохлорпропан-1,2-діолу, полімеризації і реакцій кон'югації. Утворення токсичних компонентів, високі енерговитрати на стадію дезодорування, необхідність застосування складного обладнання, яке працює зі застосуванням глибокого вакууму (2—4 мбар), — усе це фактори, що вимагають пошуку альтернативних методів дезодорування жирів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Одоруючі речовини (в англійській літературі — Volatile Organic Compounds або VOCs) є важливою індивідуальною характеристикою рослинних олій, тому що відповідають за аромат і присмак конкретного різновиду олій. Вони характеризуються низькою молекулярною масою, легко випаровуються при кімнатній температурі.

Такер визначив одоруючі речовини як клас хімічних речовин, що містять вуглець та які беруть участь у фотохімічних реакціях з навколишнім повітрям. Відомо, що леткі речовини мають точки кипіння $\leq 100^\circ\text{C}$ і / або тиск пари > 1 мм рт. ст. при 25°C .

Сьогодні метод відбору проб летких речовин HS-SPME з ідентифікацією за допомогою газової хроматографії в поєднанні з квадрупольною мас-спектрометриєю GC-MS є загальноприйнятим для аналізу летких речовин [2].

Більшість рослинних олій містять такі компоненти одоруючих речовин: вуглеводні (передусім гексан), альдегіди (ацетальдегід, пропаналь, 3-метилбутаналь, пентаналь, гексаналь і гептаналь), спирти (н-бутанол і гексанол-1), кетони (гексанон-2 і гептанон-2) та ефіри (гексілацетат) [3].

У [4] було визначено 114 низькомолекулярних одоруючих речовин, ідентифікованих у таких нерафінованих рослинних оліях — соєвій, арахісовій, соняшниковій, ріпаковій. Специфічними компонентами, характерними для різних олій, виявились:

- для ріпакової — 16 селективних одоруючих сполук: ефір метилтіюціанової кислоти, N-метилен-етенамін, диметилсульфід, 3-пентенітрил, 2-гідрокси-2-метилпропанова кислота, 2-фуранметанол, 5-ціано-1-пентен, 2(5H)-фуранон, 5-метилгексанітрил, 1,5-гексадієн-3-ол, гексаненітрил, 4-ізотиоціанато-1-бутен, дигідро-3-метил-2,5-фураніон, бензолпропанонітрил та 2-метокси-4-вінілфенол;

- для соняшnikової — 2-метилциклопентанол (від 0,043% до 1,07%);

- для соєвої — дигідро-4-метил-2(3H) — фуранон. В одоруючих соєвої та ріпакової олій багато пропаналу, що є продуктом окиснення ліноленової кислоти;

- для арахісової — 2-ундеценаль, 2-метокси-4-вінілфенол та 1-бутил-2-циклогексен-1-ол.

В оливковій олії сорту *extra virgin* — значні кількості спиртів, цис-3-гексанолу, 1-гексанолу, терпенів. Оливкова олія *extra virgin*, на відміну від інших, характеризуються дуже високою часткою етанолу і високим рівнем цис-3-гексенолу. Серед великої групи складних ефірів, виявлених в одоруючих речовинах оливкової олії, етилові та цис-3-гексенілові складні ефіри оцтової кислоти є основними. Ефіри оцтової та яблучної кислот є добре відомими компонентами фруктів і повністю відсутні в інших видах олій, які одержують з насіння. Також в оливковій олії *extra virgin* містяться циклічні складні ефіри, тобто лактони. Ці сполуки можуть бути метаболітами оливок або утворюватися при окисненні, також під час реакції Маяра. Серед альдегідів в оливковій олії присутні гексаналь і пентаналь, характерною є присутність ароматичних альдегідів. Загалом, оливкові олії високої якості містять суттєві кількості одоруючих. Диференціальною характеристикою можна вважати значний вміст не лише етанолу, цис-3-гексенолу, а й 1-гексанолу та циклопентанолу, 1-октанолу, 1-нонанолу.

1-гексанол і спирти присутні також у рафінованій і нерафінованій лляній олії, характерним є високий вміст 2-пропанолу і 2-бутанолу [5]. Нерафіновані лляні олії містять три лактони низької молекулярної маси. Це може вказувати, що ці сполуки є диференціальною характеристикою цього типу олії. Характерною є також присутність ароматичних альдегідів, а також ненасичених альдегідів, які також відносяться до продуктів окиснення. Алкілфуран у великих кількостях присутній у нерафінованих лляних оліях (усі олії з ліноленовими ацильними групами містять 2-етилфуран). Взагалі, характерною особливістю лляної олії є присутність в значних кількостях спиртів 1-гексанолу і цис-3-гексенолу, а також двох ароматичних метилових ефірів, отриманих з карвакролу і тимолу.

Склад летких речовин соняшnikової олії вивчений не настільки детально, як інших видів олій. Більшість дослідників вказує лише на низький вміст одоруючих речовин. Більшість одоруючих речовин соняшnikової олії представлено альдегідами, а саме: гексаналь, пентаналь, (E)-2-гексеналь, (E)-2-пентеналь, (Z)-3-гексеналь, 2-метилбутаналь, 3-метилбутаналь, октаналь, нонаналь, деканаль, (E,E)-2,4-декадієналь [6]. Серед інших летких сполук соняшnikової олії, що присутні в помітних кількостях, — спирти, вуглеводні, кислоти та кетони. Спирти, зазвичай, утворюються в результаті розкладання ненасичених жирних кислот [7]. 1-октен-3-ол є основним спиртом соняшnikової олії. Однак у цілому спирти характеризуються

високими порогами сприйняття, малоімовірно, що вони суттєво впливають на сенсорні характеристики олій [8]. Те ж саме стосується кетонів і жирних кислот. Слід відмітити, що їх вміст, як і альдегідів, збільшується в процесі окиснення олій [9].

Одоруочі речовини характеризуються різними порогами сприйняття. Альдегіди — основні леткі компоненти олій, для них характерні низькі пороги сприйняття. Наприклад, для пентаналу — 38 ng/L, гексаналу — 51 ng/L, гептаналу — 48 ng/L, октаналу — 9,3 ng/L, нонаналу — 12 ng/L, деканалу — 4,3 ng/L тощо [7]. Таким чином, переважно альдегіди впливають на специфічні смак та аромат різних олій, а також зміну їх сенсорних характеристик у результаті окиснення (альдегіди є найбільш вагомими вторинними продуктами окиснення), утворення відчуття згіркнення.

У ході розробки способу вилучення продуктів окиснення з олій і жирів [10] був помічений частковий ефект дезодорування соняшникової олії при введенні розчинів цукрів. Інтенсивність смаку та аромату олії після обробки суттєво зменшувалася. З'явилась робоча гіпотеза про взаємодію ОН-груп з низькомолекулярними альдегідами та кетонами, які відповідають за наявність характерного запаху цієї олії. В ході такої реакції, ймовірно, утворюються піволуацетали (рис. 1).

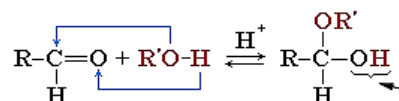


Рис. 1. Реакція взаємодії спирту з альдегідом

Імовірно також є реакції заміщення півацетального гідроксилу на алкоксильну групу, яка проходить в присутності кислотного каталізатора та призводить до утворення ацеталу (рис. 2).

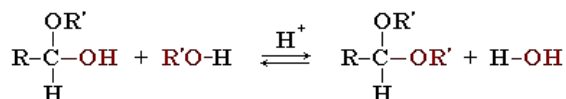


Рис. 2. Реакція взаємодії піволуацеталу зі спиртом

З кетонів і спиртів утворюються, відповідно, полукеталі та кеталі.

Мета статті: дослідження можливості проведення дезодорування рослинних олій шляхом хімічних перетворень їх одоруочих компонентів.

Матеріали і методи. Як моделі для дезодорування використовували нерафіновані гідратовані соняшникову та соєву олії.

Реакцію перетворення альдегідів і кетонів рослинних олій на ацеталі та кетанали проводили в лабораторному круглдонному реакторі місткістю 50 см³, до якого через шліфи приєднували повітряний зворотний холодильник. Перемішування реакційної суміші (250 об/хв) та підтримання температури (70—100°C, контроль температури ±0,1°C.) здійснювали на лабораторній магнітній мішалці з термopарою (RIVA-04.4, RIVA-STAL). Реакцію проводили в присутності спирту (етанол, гліцерин, ксиліт, сорбіт) в кількості 5% щодо олії та каталізатора (сульфатна, алкілбензолсульфо кислота, лимонна кислота, цеоліт) в кількості від 0,01 до 0,5%. Тривалість проведення реакції — 30 хв. Реакція утворення ацеталей є зворотною в присутності води, тому для її відведення в реактор додавали безводний сульфат магнію в кількості 0,5% щодо жиру. Після проведення реакції жир охолоджували та переносили

на лабораторну ділильну лійку, де промивали від залишків каталізатора до нейтрального рН. Вилучення залишків води та спирту здійснювали на ротаційному лабораторному випаровувачі ІКА RV 10 digital V-C впродовж 30 хв, тиск — <5 мбар.

Аналіз профілю смаку та запаху зразків соняшникової та соєвої олій здійснено за стандартною методикою. 10 учасників дегустаційної комісії (4 чоловіки, 6 жінок віком 20—60 років), добровільно включених до групи, впродовж тижня проходили тренінги. Щонайменше 10 год тренінгу були присвячені встановленню органолептичних особливостей соняшникової та соєвої олій та інтенсивності їх смаку, дослідженню різних зразків дезодорованих соняшникової та соєвої олій, представлених на ринку країни. Для дослідження ефективності дезодорування застосовувалась сенсорна панель, де 1 — повна відсутність смаку та запаху олії, 2 — наявність слабких запахів і смаків, які не можна ідентифікувати з відповідною олією, 3 — наявність характерних для олій смаку та запаху, 4 — смак і запах, притаманні нерафінованій соняшниковій (або соєвій) олії, інтенсивність запаху суттєво знижена, 5 — смак і запах, притаманні нерафінованій соняшниковій (або соєвій) олії без додаткових присмаків. Зразки олії поміщали в чашку Петрі, накриту перед подачею та помічену кодованими цифрами. Зразки знаходились при кімнатній температурі та аналізувались при денному світлі. Зразки були рандомізовані та досліджувались у різні дні.

Кислотне число олій визначали за офіційною методикою American Oil Chemists' Society (AOCS) Cd 3a-63 (AOCS, 1997). Кількість гідропероксидів (PV) визначали за офіційним методом AOCS Cd 8b-90 (AOCS, 2017). Анізидинове число (AV) визначали спектрофотометрично відповідно до офіційного методу AOCS Cd 18-90 (Офіційний метод AOCS Cd 18-90, 2011). Значення показника TOTOX розраховується за співвідношенням $TOTOX = 2PV + AV$.

Усі виміри повторювали тричі. Значимість похибок середніх значень усіх вимірювань становила $p = 0,05$ (5%).

Результати дослідження. З метою перевірки робочої гіпотези була проведена серія дослідів в умовах введення до складу недезодорованих рослинних олій спиртів з однією та декількома гідроксильними групами (етанол, гліцерин, ксиліт, сорбіт) в присутності кислотного каталізатора. Масова частка спиртів для проведення реакції становила 5% від маси олії. Результати наведено в табл. 1. Результати одержано після промивання олії дистильованою водою від залишків кислоти та відгонки залишків води і спирту в умовах розрідження.

Таблиця 1. Вплив обробки спиртами на сенсорні властивості соняшникової та соєвої олій

| Спирт | Початкова олія для дезодорування | Результат |
|----------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Етиловий спирт | Соняшnikова олія гідратована нерафінована | Запах олії неможливо було ідентифікувати, знеособлена олія. |
| Гліцерин | | Інтенсивність смаку і запаху істотно зменшилася, але запах соняшникової олії можливо було ідентифікувати. |
| Ксиліт | | Інтенсивність запаху зменшилася, помітне відчуття запаху та присмаку соняшникової олії. |
| Сорбіт | | Смак і запах практично ідентичні нерафінованій соняшниковій олії. |

Продовження таблиці 1

| 1 | 2 | 3 |
|----------------|-------------------------------------|--|
| Етиловий спирт | Соєва олія гідратована нерафінована | Запах соєвої олії неможливо було ідентифікувати, інтенсивність запаху низька, але повного ефекту дезодорування не відбулося. |
| Гліцерин | | Інтенсивність запаху зменшилася, але відтінки смаку та запаху соєвої олії можливо було ідентифікувати. |
| Ксиліт | | Помітне відчуття запаху та присмаку соєвої олії. |
| Сорбіт | | Смак і запах, притаманні нерафінованій соєвій олії. |

Зниження ефективності дезодорування спостерігалось з ростом кількості ОН-груп у спиртах, що, ймовірно, пов'язано із стехіометрією проходження реакцій.

Дослідження інших одноатомних спиртів з метою дезодорування олій було вирішено не проводити, тому що найбільш безпечною харчовою рідиною серед них є етиловий спирт.

У результаті при температурі реакції у 90°C (в присутності етилового спирту та сульфатної кислоти) відбувся ефект дезодорування соняшникової олії — зник специфічний запах і смак цієї олії. Смак і запах соєвої олії повністю змінився. Але, на відміну від соняшникової олії, не зник повністю, що, ймовірно, пов'язано з більшою концентрацією одоруючих речовин у соєвій олії (порівняно з соняшниковою) та їх більшим різноманіттям. Дегустаційна комісія встановлювала фруктовий аромат. Оскільки нижчі ацеталі — речовини приємного фруктового запаху, ймовірно, що в описаних умовах одержуються саме нижчі ацеталі, тому що альдегіди та кетони, які входять до складу одоруючих речовин олій, є низькомолекулярними речовинами. На нашу думку, повне дезодорування соєвої олії також можливе, але потребує додаткових досліджень щодо режимів вилучення залишків летких речовин після проведення дезодорування (при дослідженні проводили вилучення залишків води та спирту при температурі 130°C тиску — 4 мбар).

Одержаний результат є цікавим з точки зору можливого контрольованого впливу на органолептичні характеристики соєвої олії з одержанням продуктів заданої інтенсивності смаку й аромату.

З метою підтвердження робочої гіпотези про знеособлення смаку та запаху соняшникової олії шляхом утворення ацеталей і кетаналей соняшникову олію обробляли окремо етиловим спиртом у тих же умовах, водним розчином сірчаної кислоти (0,5% 98% сульфатної кислоти), ацетоном у присутності сульфатної кислоти. Ефект дезодорування не відбувся в жодному зі зразків.

Тип кислотного каталізатора впливає на глибину, швидкість проходження реакції з утворенням ацеталей (кетаналей) [11]. З метою пошуку найбільш ефективного каталізатора були задіяні декілька кислот (табл. 2).

Таблиця 2. Дослідження впливу різних кислот як каталізаторів процесу хімічного дезодорування соняшникової олії

| Каталізатор | Кількість, % | Результат |
|---------------------------------|--------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Сульфатна, 98% | 0,5 | Смак і запах соняшникової олії не ідентифікується |
| Алкілбензолсульфокислота (АБСК) | 0,5 | Запах соняшникової олії неможливо було ідентифікувати, але був присутній сторонній аромат |

Продовження таблиці 2

| 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|-----|---|
| Лимонна кислота (99,8%) | 0,5 | Запах і смак соняшникової олії можливо було ідентифікувати. Але інтенсивність запаху зменшилася |
| Цеоліт | 0,5 | Запах і смак соняшникової олії можливо було ідентифікувати. Але інтенсивність запаху зменшилася |

Результати дезодорування зі всіма кислотами, окрім концентрованої сульфатної, слід вважати незадовільними. Незважаючи на те, що АБСК, як і сульфатна кислота, є сильною кислотою і тому не менш ефективним каталізатором, при її застосуванні в умовах досліджень з'являлись неприємні відтінки смаку й аромату. Тому як оптимальний каталізатор було обрано концентровану сульфатну кислоту.

У серії досліджень встановлювалась її раціональна концентрація — проводили реакцію при 1; 0,5; 0,1; 0,05; 0,03; 0,01% сульфатної кислоти щодо олії. Достатньою для позитивного результату дезодорування була концентрація 0,03% сульфатної кислоти.

У процесі альтернативного дезодорування до складу олій вносили нехарактерні речовини — етиловий спирт, сульфатну кислоту. Незважаючи на наявність стадій вилучення цих речовин (відмивання олії від кислоти до нейтрального рН і відгонку летких речовин після цього), необхідно встановити вплив на якісні характеристики олій (табл. 3).

Таблиця 3. Якісні показники соняшникової олії до та після проведення низькотемпературного дезодорування

| Назва показника | Якісні показники олії до дезодорування | Якісні показники олії після дезодорування |
|--|---|---|
| Кислотне число, мг КОН/г | 1,42±0,25 | 1,39±0,17 |
| Пероксидне число, ммоль ^{1/2} О/кг | 4,5±0,12 | 2,2±0,08 |
| Анізидинове число, у.о. | 2,06±0,18 | 1,31±0,29 |
| ТОТОХ | 11,06 | 5,71 |
| Масова частка фосфоровмісних речовин, % у перерахунку на стеароолеолецитин | 0,065±0,0074 | 0,063±0,0065 |
| Масова частка вологи та летких речовин, % | 0,10±0,05 | 0,13±0,45 |
| Колірне число, мг йоду | 15 | 15 |
| Смак і запах | Притаманні олії соняшниковій гідратованій без стороннього запаху, присмаку та гіркоти | Смак знеособленої олії, без запаху |

Запропонований спосіб дезодорування не впливає негативно на якісні показники соняшникової олії (табл. 3). Спостерігається зменшення значення пероксидного числа. Імовірно, гідрпероксиди руйнуються під впливом сірчаної кислоти з утворенням вторинних продуктів окиснення, для соняшникової олії характерно утворення перш за все альдегідів. Альдегіди в ході реакції з етиловим спиртом перетворюються на ацеталі, що призводить до зниження їх кількості. В результаті значення ТОТОХ знижується суттєво — з 11,06 до 5,71, тобто альтернативний спосіб дезодорування можна також розглядати як спосіб зниження вмісту продуктів окиснення і відновлення якісних характеристик олій.

Висновки. Розроблений альтернативний спосіб дезодорування соняшникової олії, заснований на принципово новому підході. Доведена можливість повного знеособлення соняшникової олії при обробці її етиловим спиртом в присутності кислотного каталізатора. Досліджена можливість регулювання смаку й аромату соєвої олії в результаті обробки її спиртами в присутності кислотного каталізатору.

Розроблений метод заснований на перетворенні основних одоруючих компонентів жирів — альдегідів і кетонів в ацетати та кетанали з подальшим їх вилученням у «м'яких» умовах порівняно з традиційним дезодоруванням — при температурі $\leq 130^{\circ}\text{C}$ та тиску менше 5 мбар.

При застосуванні розробленого методу дезодорування немає необхідності підігріву олій до температур 200°C та вище, а також застосування гострої пари, що в комплексі призведе до значного зниження собівартості процесу. Встановлене зниження вмісту пероксидів та альдегідів повинно стабілізувати олії щодо окиснювального псування. Також при застосуванні розробленого методу дезодорування не відбувається дистиляція вільних жирних кислот, моно-, ди- та тригліцеролів, що, з одного боку, призводить до зменшення втрат, а з іншого — не буде додатково знижуватися кислотне число. Також не відбуватиметься термічне відбілювання рослинних олій і зниження колірності, що зумовлюватиме необхідність корекції циклу рафінування олій на стадії адсорбційного очищення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Greyt W. Deodorization / W. Greyt // Bailey's Industrial Oil and Fat Products, John Wiley and Sons. — 2020.
2. Fortini M. Multiple internal standard normalization for improving HS-SPME-GC-MS quantitation in virgin olive oil volatile organic compounds (VOO-VOCs) profile / M. Fortini, M. Migliorini, C. Cherubini, L. Cecchi, L. Calamai // Talanta. — Vol. 165. — 2017. — P. 641—652.
3. Ozcan-Sinir G. Detection of adulteration in extra virgin olive oil by selected ion flow tube mass spectrometry (SIFT-MS) and chemometrics / G. Ozcan-Sinir // Food Control. — Vol. 118. — 2020. — 107433.
4. Hu W. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry / W. Hu, L. Zhang, P. Li, et al // Talanta. — Vol. 129. — 2014. — P. 629—635.
5. Gómez-Cortés P. Quantitative analysis of volatiles in edible oils following accelerated oxidation using broad spectrum isotope standards / P. Gómez-Cortés, G. Sacks, T. Brenna // Food Chemistry. — Vol. 174. — 2015. — P. 310—318.
6. Ozcan-Sinir G. Detection of adulteration in extra virgin olive oil by selected ion flow tube mass spectrometry (SIFT-MS) and chemometrics / G. Ozcan-Sinir // Food Control. — Vol. 118. — 2020. — 107433.
7. Scortichini S. Development and application of a solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry method for analysing volatile organic compounds produced during cooking / S. Scortichini, M. Boarelli, M. Castello, F. Chiavarini, S. Gabrielli, E. Marcantoni, D. Fiorini // Journal of Mass Spectrometry. — Vol. 55, Issue 11. — e4534.
8. Molina-Garcia L. Comparative fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying / L. Molina-Garcia, C. S. P. Santos, S. C. Cunha, S. Casal, J. O. Fernandes // J Am Oil Chem Soc. — 2017. — 94. — P. 271—284.
9. Liu Y. Effect of frying oils' fatty acid profile on quality, free radical and volatiles over deep-frying process: A comparative study using chemometrics / Y. Liu, J. Li, Y. Cheng, Y. Liu // LWT. — Vol. 101. — 2019. — P. 331—341.
10. Демидова А. А. Современные способы выведения продуктов окисления из масел и жиров / А. А. Демидова, М. А. Нестерцов // Масложировой комплекс. — Днепропетровск. — «Эксперт Агро». — № 3(58). — 2017. — С. 45—47.

11. Capeletti, M. R., Balzano, L., de la Puente, G., Laborde, M., & Sedran, U. (2000). Synthesis of acetal (1,1-diethoxyethane) from ethanol and acetaldehyde over acidic catalysts / M. Capeletti, L. G. la Puentea, M. Labordeb, U. Sedra // Applied Catalysis A: General. — Vol. 198, Issues 1—2. — 2000. — P. L1—L4.

ОДОРИРУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И СПОСОБЫ ИХ ВЫВЕДЕНИЯ

А. А. Демидова

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Е. И. Шеманская

Национальный университет пищевых технологий

В статье предоставлены современные данные о составе одорирующих веществ различных типов растительных масел. Рассмотрены особенности общего для растительных масел набора одорирующих веществ и выделены их разновидности, которые могут выступать индивидуальными характеристиками наиболее распространенных видов масел. Доказана возможность химической дезодорации растительных масел — принципиально нового подхода к удалению одорирующих веществ. Способ основан на взаимодействиях между альдегидами и спиртами с образованием более летучих ацеталей. Полученные полностью дезодорированные образцы подсолнечного масла. Доказана возможность контролируемого воздействия на органолептические характеристики соевого масла.

Ключевые слова: *дезодорация, одорирующие вещества, растительные масла, кетоны, альдегиды.*

УДК 628.544; 628.385

BIOLOGICAL UTILIZATION OF BEET PULP WITH THE USE OF METHANE FERMENTATION

N. Bubliencko, O. Semenova*National University of Food Technologies*

Key words:

sugar beet pulp,
biogas,
biofertilizer,
plant stimulation

Article history:

Received 31.08.2021

Received in revised form
04.11.2021

Accepted 11.11.2021

Corresponding author:

3110nb@gmail.com

ABSTRACT

The sugar industry is characterized by the formation of waste, one of the largest in volume is sugar beet pulp. Processing of pulp by classical technologies has disadvantages, so it is rational to use biological methods to obtain biogas and fertilizers.

Methane fermentation allows to compensate the costs of the environmental project through the use of biogas. Of practical interest is also anaerobic biomass enriched with biologically active substances that can be used as fertilizer.

Therefore, it is important to study the stimulating effect of bio-components of anaerobic activated sludge on plants.

The aim of the work is to study the methane fermentation of pulp for biofuels and plant growth stimulants.

Main tasks: analysis of traditional methods of pulp utilization, research of methane fermentation of pulp in periodic mode, determination of energy potential of pulp, study of stimulating effect of anaerobic biomass on pea grain development *Pisum sativum*.

As a result of research it was found that beet pulp is subjected to methane fermentation in the periodic thermophilic regime ($45 \pm 1^\circ\text{C}$). The loading dose of beet pulp was 10 % of the total mass of the culture fluid. Duration of methane fermentation of beet pulp — 24 days. The efficiency of dry matter biotransformation of beet pulp at the end of fermentation was 83,7%.

The intensity of gas formation was high, as evidenced by the yield of biogas in the amount of 370 dm³/kg of dry matter of beet pulp, loaded into a methane tank. The formed biogas was characterized by a fairly high content of combustible methane gas (up to 65...67%). Such biogas is quite acceptable for use as an alternative fuel.

Treatment of pea grain with bioactive solution led to accelerated growth of seedlings (by 23...32%), roots (by 22...28%), increased germination energy compared to the control experiment by 23,2%.

The obtained results testify to the prospects of using fermented biomass solutions to stimulate the growth and development of cereals.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-7

БІОЛОГІЧНА УТИЛІЗАЦІЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАНОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

Н. О. Бублієнко, канд. техн. наук

О. І. Семенова, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

*Для цукрової промисловості характерним є утворення значної кількості різноманітних за складом і властивостями відходів, з яких одним із найбільших за обсягами є жом цукрового буряка. У статті проаналізовано традиційні способи утилізації бурякового жому, досліджено метанове бродіння бурякового жому в періодичному режимі, визначено енергопотенціал цього субстрату, стимулювальну активність зброженої анаеробної біомаси на розвиток зерен гороху посівного *Pisum sativum*. Отримані результати свідчать про перспективність використання розчинів зброженої біомаси для стимулювання росту і розвитку зерна посівних культур.*
Ключові слова: жом цукрового буряка, біогаз, біодобриво, стимуляція рослин.

Постановка проблеми. Підприємства харчової промисловості, особливо це стосується цукрової, спиртової, пивоварної, олійножирової тощо галузей, є потужним джерелом утворення відходів і вторинних матеріальних ресурсів. Такі виробництва використовують величезну кількість сировини у сотні і тисячі тонн на добу, а вихід кінцевого продукту, зазвичай, не перевищує 5...25% від маси початкової сировини. Відповідно, значна частина сировини перетворюється у відходи. Так, при виробництві цукру з буряка цукрового вихід жому становить близько 80% від маси початкової сировини [1]. Отже, наприклад, завод потужністю 3 000 т буряка на добу за сезон матиме близько 300 тис. т жому.

Обсяги утвореного жому в Україні протягом останніх років коливаються залежно від економічних, соціальних, виробничих тощо факторів. Так, у 2010 р. утворилось 10 999,2 тис. т, 2015 р. — 8 264,8, 2017 р. — 11 905,6, 2018 р. — 11 174,4 тис. т [2].

Хімічний склад свіжого бурякового жому, %, (у перерахунку на сухі речовини): целюлоза — 45...47, пектинові речовини — до 50, білки — 2, цукри — 0,6...0,7, мінеральні речовини — близько 1; наявні органічні кислоти тощо. Вміст води у жомі зменшують, віджимаючи його, кількість сухих речовин при цьому досягає 18...24 до 28% [3].

Через значну вологість і вміст органічних компонентів у жомі активно розвиваються мікроорганізми, що зумовлює швидке псування, ускладнює транспортування та подальшу переробку.

Частину свіжого жому, зазвичай, використовують у тваринництві як корм, але лише протягом кількох днів, доки в жомі не розпочались процеси псування. Більшу частину зберігають у жомових ямах, де в анаеробних умовах відбувається гетероферментативне молочнокисле бродіння з утворенням кислого жому. Останній теж використовують як кормову добавку.

Порушення процесів зберігання жому в жомосховищах не лише призводить до втрат корисних компонентів, але й несприятливо впливає на навколишнє середовище, оскільки є причиною утворення неприємних запахів, що поширюються на значні території, джерелом забруднення ґрунтових вод, ґрунтів тощо.

Сушіння жому є енергозатратним (для отримання 1 кормової одиниці витрачають майже 1 кг умовного палива), супроводжується частковим руйнуванням поживних речовин (білків, вітамінів тощо), тому не може бути універсальним способом утилізації [3].

Сушений жом має низький вміст протеїну, фосфору і вітамінів. Для його збагачення використовують мелясу, карбамід, згущену післяспиртову або післядріжджову барду. Але зменшення поголів'я худоби останніми роками відповідно зменшило попит на кормові добавки такого походження.

Можливе також використання жому для отримання пектину, який має вищу комплексоутворювальну здатність порівняно з пектинами іншого походження, тобто активно зв'язує і виводить з організму важкі метали і радіонукліди. Однак суттєві енерговитрати, невідповідність якості жому потребам виробництва пектину, недосконалі технічні рішення не сприяли поширенню цієї технології в нашій країні [1; 4].

Нині в Україні для біоутилізації відходів та очищення концентрованих стічних вод (із показником хімічного споживання кисню (ХСК) понад 2 000 мг O_2 /дм³) активно застосовують екологічно виправдані й економічно доцільні технології, основою яких є анаеробний (безкисневий) процес метанового бродіння.

За даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП), станом на 2020 р. в Україні побудована 51 біогазова станція, загальна потужність яких майже 97 МВт. Про темпи розвитку біогазової галузі країни свідчить те, що у 2013 р. біогазових установок на сільськогосподарській сировині, що працювали за «зеленим тарифом», було лише дві з встановленою потужністю 6,9 МВт [5; 6].

Енергією, отриманою на біогазовому комплексі, можна забезпечувати виробничі потреби підприємства або ж продавати державі за «зеленим тарифом». Станом на липень 2020 р. біогаз займає 3% у структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [6].

Серед підприємств, де впроваджені біогазові комплекси, є цукрозаводи, сукупні потужності яких перевищують 5 МВт. Це Теофіпольський цукровий завод, Глобинський цукровий завод, Селищанський цукровий завод тощо [6].

Активне використання такої технології переробки відходів і концентрованих стоків зумовлено передусім можливістю отримання значних кількостей біогазу, основним компонентом якого є горючий газ метан. Співвідношення між основними компонентами біогазу (метан:вуглекислий газ) коливається від 50:50 до 80:20. Вміст метану залежить від умов метаногенезу, типу субстрату, який зброджують та деяких інших факторів [7; 8].

Завдяки високому вмісту метану біогаз використовують як альтернативне джерело енергії, спалюючи його в котлоагрегатах для отримання теплової енергії, або отримують електричну енергію в когенераційних установках. Останнє є ефективнішим порівняно з іншими способами використання біогазу, особливо враховуючи можливість продажу такої електроенергії за «зеленим тарифом» [9].

Перспективним є також використання зброженої біомаси після метантенку як цінного добрива з високим вмістом біоактивних компонентів. Застосування його сприятиме покращенню структури та складу ґрунтів. Важливим також є те, що така біомаса є безпечною і може бути використана як добриво без додаткового оброблення через вибір саме термофільного режиму метанового бродіння.

Мета статті: дослідження метанової ферментації бурякового жому, що є джерелом альтернативного біопалива та зброженої анаеробної біомаси як стимулятора росту і розвитку сільськогосподарських рослин.

Матеріали і методи. Метанове збродження бурякового жому проводили в лабораторній установці, яка складалася із метантенку, загальним об'ємом 4 дм³, і газгольдера водяного типу для накопичення та зберігання біогазу. Температурний

режим бродіння — термофільний, тобто в термостаті, в якому був розміщений метантенк, дотримувалась температура $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Така температура надає можливість забезпечити високу швидкість процесу метаногенерації і водночас не є занадто енергозатратною, порівняно із вищими температурними показниками метанового бродіння. Режим культивування — періодичний.

Утворений у метантенку біогаз через гумову трубку надходив у газгольдер. Об'єм біогазу визначали за об'ємом води, яка була витіснена біогазом у приймальну колбу. Вміст метану CH_4 в біогазі вимірювали, пропускаючи газ із газгольдера через водний розчин гідроксиду натрію (концентрація 10%).

Величину показника рН контролювали з використанням портативного рН-метра лабораторного рН-305.

Для дослідження стимулювального впливу збродженої біомаси після метантенка на проростання зерна використовували розчин із суміші цієї біомаси і водопровідної води. Визначали висоту проростків, довжину корінців; розраховували показник енергії пророщування зерна. Показники процесів визначали за стандартними методиками [10; 11].

Результати досліджень. На кафедрі екологічної безпеки та охорони праці Національного університету харчових технологій проводяться дослідження з використання процесу метанової ферментації для утилізації рослинних відходів, у тому числі бурякового жому цукрових заводів.

Буряковий жом із жомосховища завантажували в метантенк, розміщений у термостаті. Бродіння відбувалось у періодичному режимі при $45 \pm 1^\circ\text{C}$. Для бродіння використали анаеробний активний мул із Юзефо-Миколаївської біогазової станції (Вінницька область). Доза завантаження бурякового жому становила 10% від загального об'єму культуральної маси.

У процесі метанового бродіння відбувається поступове розкладання компонентів жому анаеробними мікроорганізмами, що складають основу анаеробного активного мулу. Зважаючи на складність компонентів жому для біотрансформації мікроорганізмами мулу, процес є досить тривалим у часі.

Хід метанового бродіння контролювали за такими показниками: вміст сухих речовин (СР) жому, величина показника рН культуральної рідини, вихід біогазу, вміст метану в ньому. Результати, отримані в процесі дослідження, відображені на рис. 1.

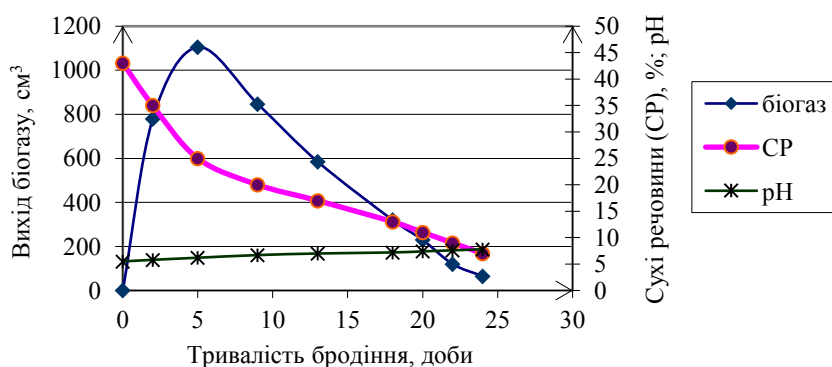


Рис. 1. Вихід біогазу та зміна концентрації сухих речовин бурякового жому і рН культуральної рідини при метановому бродінні

Тривалість метанового бродіння бурякового жому — 24 доби, що пояснюється особливостями складу збродженого субстрату, зокрема високим вмістом складних для біотрансформації органічних компонентів, передусім целюлози, геміцелюлози, пектинових речовин тощо.

Ефективність біотрансформації сухих речовин бурякового жому наприкінці збродження становила 83,7%. Величина показника рН біомаси зросла від 5,5 до 7,8, тобто «закисання» субстрату в метантенку не відбувалось, а отже, процес бродіння відбувався без відхилень.

Інтенсивність газогенерації була високою, про що свідчить вихід біогазу в кількості 370 дм³/кг сухих речовин бурякового жому, завантаженого в метантенк. Для утвореного біогазу характерним був досить високий вміст горючого газу метану (до 65...67%). Такий біогаз цілком допустимий до використання як альтернативне паливо для забезпечення теплових потреб метантенку або для виробництва електричної енергії.

Через 17...18 діб інтенсивність метаногенезу суттєво падає через те, що вже відбулась біотрансформація більшості сухих речовин бурякового жому. Подальше продовження бродіння стає економічно недоцільним через низький вихід біогазу і великі енерговитрати на підтримання температурного режиму в метантенку.

У біомасі з метантенку визначені досить високі концентрації біологічно активних речовин, перш за все вітамінів групи В. Вміст цианкобаламіну (вітаміну В12) становив 15...17 мкг/г сухих речовин. Також ця біомаса багата на азотні, фосфорні, калійні тощо компоненти, що робить її особливо цінною при стимулюванні росту і розвитку рослин. Важливим є те, що при термофільному режимі в анаеробних умовах біомаса звільнена від гельмінтів, термочутливих патогенних мікроорганізмів, а насіння бур'янів втратило здатність до проростання. Тому така зброджена анаеробна біомаса є ефективною добавкою як добриво для сільськогосподарських рослин, а також стимулятором їх росту і розвитку.

Насіння овочевих культур відрізняється біологічною різноманітністю, і тому для них, зазвичай, характерні різні періоди проростання, сили росту і реакції на несприятливі умови вирощування. Через це рослини розвиваються нерівномірно, що призводить до зниження врожайності.

На сучасному етапі розвитку овочівництва якості насіння для посадки надають особливого значення, тому використовують різні способи його передпосівної обробки, які мають на меті підвищення інтенсивності проростання рослин, стимулювання росту і розвитку рослин, урівноваження різноманітності рослин за силою росту і здатністю до проростання, посилення здатності протистояти несприятливим факторам навколишнього середовища.

Способи передпосівної обробки насіння поділяють на три типи: механічні, фізичні та хімічні. Традиційні способи, зазвичай, мають недоліки через досить значну енерго- чи ресурсовитратність, значну тривалість процесу обробки, застосування хімічних складових або фізичних факторів, які можуть негативно вплинути на показники якості і безпеки рослин. Тому були проведені дослідження із застосування збродженої біомаси з метантенку як стимулятора росту зерен гороху посівного *Pisum sativum*.

Для обробки насіння зерен гороху посівного використовували біологічно активний розчин, отриманий розведенням збродженої біомаси (10 см³ водопровідної води на 2 см³ збродженої біомаси). Зерна гороху посівного замочували в отриманому роз-

чині 40 хв (співвідношення кількості зерна до біоактивного розчину 100:1). Паралельно проводили контрольне дослідження, для цього замочували зерно гороху посівного у водопровідній воді за аналогічних умов.

Оброблене зерно гороху поміщали на рівномірно розподілений шар піску в чашках Петрі, попередньо прокип'ячених протягом 40 хв і продезінфікованих спиртом етиловим. Попередня обробка піску передбачала кількаразове промивання дистильованою водою, підсушування в сушильній шафі і просіювання для видалення небажаних домішок.

У чашки Петрі клали по 25 зернин гороху посівного і пророщували за температури 20°C, щоденно їх зволожуючи. Через дві доби від початку обробки щоденно вимірювали висоту проростків зернин і довжину корінців. Отримані результати наведені, відповідно, на рис. 2 та 3.

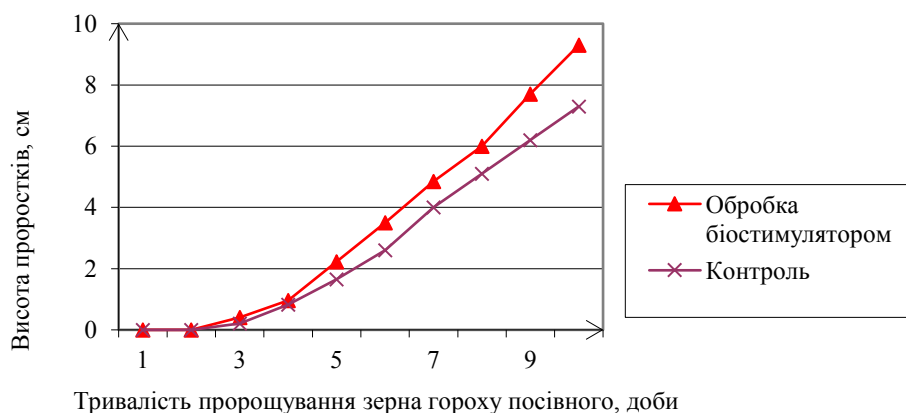


Рис. 2. Висота проростків зерна гороху посівного при попередній обробці біостимулятором і без нього (контроль)

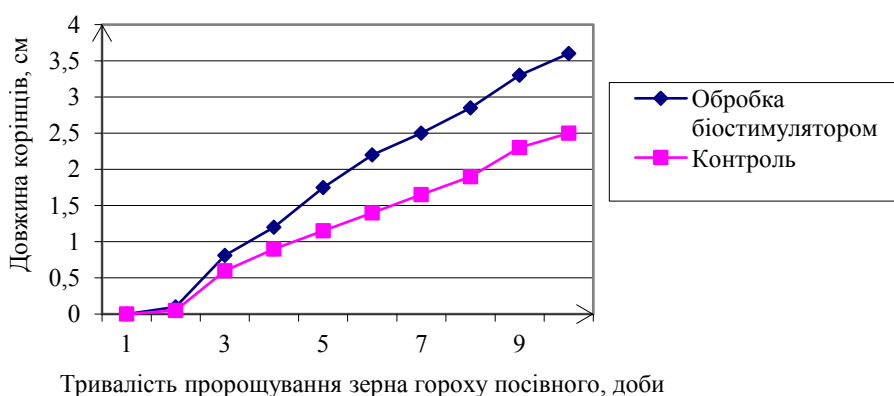


Рис. 3. Довжини корінців зерна гороху посівного при попередній обробці біостимулятором і без нього (контроль)

Була поражена кількість пророслих зернин гороху посівного через 72 год від початку процесу пророщування. За отриманими даними розрахована енергія пророщування (тобто дружність появи нормальних проростків насіння після трьох днів пророщування і виражена у відсотках) [12]. Для нативного зерна (необробленого біостимулятором, а лише замоченого у водопровідній воді) цей показник досягнув 73%, для зерна, обробленого біостимулятором — 95%.

Оброблення зерна гороху посівного біоактивним розчином зумовило прискорений ріст проростків (на 23...32%), корінців (на 22...28%), енергія проростання збільшилась на 23,2% порівняно з контрольним дослідом. Отримані результати свідчать про перспективність використання розчинів збродженої біомаси для стимулювання росту і розвитку зерна посівних культур.

Висновки. Отже, метанова ферментація відходу цукрової промисловості — бурякового жому, комплексно вирішує питання його утилізації, адже надає можливість ліквідувати цей багатотонажний відхід, одночасно забезпечуючи значний вихід біогазу (370 дм³ з 1 кг сухих речовин бурякового жому) з високим вмістом метану (65...67%), який використовують для виробництва теплової або електричної енергії.

Також утворюється зброджена анаеробна біомаса, яка є цінним добривом і стимулятором росту та розвитку сільськогосподарських культур, адже суттєво покращує параметри проростання зерна (доведено збільшення енергії проростання на 23,2%).

ЛІТЕРАТУРА

1. Мартинюк А. С., Пастух Г. С. Актуальні напрями утилізації відходів цукрового виробництва // Екологічні науки. — 2019. — № 2(25). — С. 187—190. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-31>.
2. Аналіз діяльності підприємства «Ukrainian Sugar Company» (Розробка технологій утилізації відходів цукропереробного заводу). — URL: https://www.onaft.edu.ua/download/konfi/2020/all-ukrainian_student_scientific_works_tep/Production_wastes.pdf (дата звернення 30.06.2021).
3. Перспективи використання побічних продуктів цукрового виробництва / О. Воєцька, І. Чернега, О. Цюндик [та ін.] // Зернові продукти і комбікорми. — 2018. — Т. 18, № 1. — С. 37—43. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/gpmf/article/view/892>.
4. Сучасні напрямки утилізації бурякового жому. — URL: <https://m.diamantsugar.com.ua/ua/articles/sychasn-napryamki-vikoristannya-ta-ytilzats-byryakovogo-zhomy> (дата звернення 30.06.2021).
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Новини. URL: <http://saee.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення 30.06.2021).
6. 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 30.06.2021).
7. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105770>.
8. Effect of temperature on screasing 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.143>.
9. Hengeveld E. Biogas infrastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids / E. Hengeveld, J. Bekkering, W. Gemert // Biomass and Bioenergy. — 2016. — Vol. 86. — P. 43—52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.01.005>.
10. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. — Санкт-Петербург: Кримас, 2010. — 248 с.
11. Семенова О. І., Бублієнко Н. О. Природоохоронні технології та обладнання: лабораторний практикум. — К.: НУХТ, 2019. — 55 с. URL: <http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=379672>.

12. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138 — 2002. — [Чинний від 28 грудня 2002 р.] — Київ: Держспоживстандарт України, 2003. — 148 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

Н. А. Бублиенко, Е. И. Семенова

Национальный университет пищевых технологий

*Для сахарной промышленности характерно образование большого количества разнообразных по составу и свойствам отходов, из которых одним из крупнейших по объемам является жом сахарной свеклы. В статье приведены анализ традиционных способов утилизации свекловичного жома, исследования метанового брожения свекловичного жома в периодическом режиме, определение энергетического потенциала данного субстрата, исследования стимулирующей активности сброженной анаэробной биомассы на развитие зерен гороха посевного *Pisum sativum*. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования растворов сброженной биомассы для стимулирования роста и развития зерен посевных культур.*

Ключевые слова: жом сахарной свеклы, биогаз, биоудобрение, стимуляция растений.

УДК 664.14

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF ORGANIC FRUIT FUNCTIONAL PASTE

Yu. Kambulova, O. Kokhan, N. Oleksiienko, D. Vorochek, O. Shchyrskya

National University of Food Technologies

Key words:

organic products,
fruit paste,
chia seeds,
functional foods

Article history:

Received 02.12.2021
Received in revised form
05.12.2021
Accepted 10.12.2021

Corresponding author:

Kambulova.julya@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the possibility of obtaining an organic fruit paste with a high content of biologically active substances. Organic plum puree, organic white sugar and organic chia seeds were used as a basis for its production, which further increases the nutritional and biological value of paste.

The prescription composition of the paste was optimized, the technological scheme of its production was improved. Rational concentration of chia seeds in the mass for pastewas 3% to the mass of puree. They had a favorable effect on the organoleptic characteristics of the finished paste, particularly pleasant taste and aroma, the taste of the seeds was felt, which harmonizes with the taste of plums.

Technological modes of drying paste “Plum with chia” was established to be 6 hours at a temperature of 65—70°C. During drying, the products reached mass fraction of dry matter — 74.0%, had total acidity — 16.0 degrees, the mass fraction of reducing substances — 11.3%.

It was found that the consumption of pastes “Plum with chia” provided the human body with a high content of dietary fiber, polyunsaturated fatty acids (5.6% of daily requirement), potassium (23.5%), phosphorus (16.2%), manganese (23%), copper (26%), vitamin C (29%), calcium, iron, vitamin PP.

Organic plum paste has a low energy value (288 kcal (1205 kJ)), it is characterized as a product with a low glycemic index (36.87 units), which allows it to be consumed by all segments of the population.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-8

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЧНОЇ ФРУКТОВОЇ ПАСТИЛИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СПРЯМУВАННЯ

Ю. В. Камбулова, д-р техн. наук

О. О. Кохан, канд. техн. наук

Н. В. Олексієнко, канд. техн. наук

Д. В. Ворочек

О. С. Щирська

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано можливість отримання органічної фруктової пастили — кондитерського виробу з високим вмістом біологічно-активних речовин. Як основу для її виробництва використано пюре з органічних слив (ТОВ Дунайський аграрій), органічний білий цукор (ТМ Добрик) і органічне насіння чіа (ТМ Матта Chia), що додатково збагачує поживну і біологічну цінність пастили.

Оптимізовано рецептурний склад пастили, удосконалено технологічну схему її виробництва. Встановлені технологічні режими сушіння — 6 год за температури 65—70°C.

З'ясовано, що споживання пастили «Сливова з чіа» забезпечує організм людини високим вмістом харчових волокон, поліненасичених жирних кислот, калієм, фосфором, марганцем, міддю, вітаміном С, кальцієм, залізом, вітаміном РР. Органічна сливова пастила має низьку енергетичну цінність, характеризується як продукт з низьким глікемічним показником, що дозволяє споживати її всім верствам населення.

Ключові слова: органічні вироби, фруктова пастила, насіння чіа, функціональні харчові продукти.

Постановка проблеми. Серед широкого асортименту цукристих кондитерських виробів поживною і біологічною цінністю вирізняється фруктова пастила, яка характеризується різноманіттям смаків і знайшла прихильність у всіх категорій споживачів.

Фруктова пастила виробляється з фруктового або ягідного пюре з додаванням (або без) цукру білого з подальшим сушінням маси за невисоких температур. Застосування саме шадного впливу термооброблення дає змогу зберегти всі цінні компоненти хімічного складу фруктового або ягідного пюре і забезпечити високу частку добової потреби у вітамінах, мінеральних речовинах, харчових волокнах без негативного впливу на організм. У той же час пюре, що використовується для фруктової пастили, є сезонним продуктом і, як правило, переробляється в період збору фруктово-ягідної сировини з подальшим консервуванням. Незважаючи на дотримання всіх умов і режимів технологічного процесу виробництва пастили, залишкові частини консервуючих реагентів пюре потенційно можуть передаватись готовій продукції, чим викликати негативні реакції при її споживанні. Тому актуальним є використання сировини, яка абсолютно не має негативного впливу на організм людини і є лише цінним джерелом поживних і біологічних речовин. До такої сировини належить лише органічна.

Сьогодні на ринку України найвідомішими виробниками фруктової пастили є: ТМ «Bob Snail», ТМ «Sergio», ТМ «ФруТім», ТМ «Фрукфетта». Склад такої пастили включає фруктове, в основному яблучне пюре, ягідне (або овочеве) пюре та цукор (в деяких виробках цукор відсутній).

У літературних джерелах знайдено рецептури нетрадиційних видів пастили, розробленої українськими вченими. Наприклад, рецептуру пастили, до складу якої входить пюре агрусу та інжиру у співвідношенні 1:1 на заміну 20% яблучного пюре [1], або пастили фруктової із гарбузового, цитрусового (апельсинового і лимонного) пюре, додатково збагаченої насінням льону, чіа, кіноа [2].

Проте, як сказано вище, у багатьох видах пастили основою є яблучне пюре, яке завдяки високому вмісту водорозчинного пектину надає необхідну структуру пастильній масі. Деякі виробники запатентували широкий спектр фруктової і ягідної пастили [3], в якій ягідно-фруктову сировину сортують на групи за кількістю яблучного пюре: а) яблучне пюре 1...10%, решта — пюре полуниці або абрикос, або персиків, або грушеве, або сливове, або аличі; б) пюре яблучне 30...50%, решта — пюре мандаринове або апельсинове, або малинове, або вишневе, або ожинове, або порічкове, або смородинове, або чорничне, або морквяне, або гарбузове; в) пюре яблучне — понад 60%, а пюре лимонне, або пюре калини, або обліпихи, або терну, або журавлини, або брусниці — 1...40%. Використання у всіх видах пастили яблучного пюре зменшує собівартість виробництва, але вимагає введення додаткових видів пюре для урізноманітнення смаку і аромату.

На нашу думку, на заміну яблучного пюре може бути використано пюре сливове, — унікальний за своєю корисністю, вмістом вітамінів і мінеральних солей продукт. Його широко застосовують при приготуванні десертів, випечених виробів, соусів, в харчуванні дітей. Згідно з літературними джерелами [4] відомо про багатство сливового пюре харчовими волокнами, мікро- і мікроелементами, вітамінами тощо. Сливове пюре надає користь травній та імунній системам організму людини, здійснює позитивний вплив на серцево-судинні органи, очищує кров, нормалізує артеріальний тиск і роботу щитовидної залози. Також можливо доповнити біологічну цінність сливового пюре мікро- і мікроелементами, есенціальними жирними кислотами, які містяться в насінні чіа, що набуло високої популярності серед людей, які дотримуються здорового харчування.

Чіа біле або Шавлія іспанська культивується у багатьох країнах Південної Америки та в Австралії. Рослина багате поліненасиченими жирними кислотами (у тому числі вирізняються значним вмістом ПНЖК омега-3 і омега-6), клітковину, білок, харчові волокна, кальцій [5]. Корисні елементи насіння сприяють профілактиці серцево-судинних, онкологічних хвороб, нормалізують роботу нервової системи, зменшують запальні процеси, підвищують активність роботи мозку. Чіа корисне хворим на діабет, оскільки сприяє нормалізації кількості глюкози в крові.

У літературних джерелах надаються узагальнені режими технологічних операцій з виробництва фруктової пастили. Так, технологія листової фруктової пастили включає сортування і калібрування плодів або ягід, видалення механічних домішок, промивання, їх термообробку (як правило, запікання при температурі 100...140°C), охолодження і протирання, приготування пастильної маси змішуванням пюре з цукром і різними смаковими добавками, формування пластів пастильної маси, сушіння за температур 70...105°C, охолодження [8, 9]. При цьому режими сушіння пастили відрізняються між собою і залежать від компонентного складу пастили. Тому при створенні нового продукту обов'язково виникає необхідність у вивченні режимів проведення стадії сушіння пастили і надання рекомендацій щодо удосконалення технологічного процесу.

Метою статті є дослідження можливості отримання фруктової пастили з органічної сировини — сливового пюре, цукру білого, чіа, підбір оптимальних умов

сушіння та надання рекомендацій щодо удосконалення технології виробництва. В рамках поставленої мети визначено такі *експериментальні завдання*:

1. Визначити фізико-хімічні показники сировини, яка використовується в дослідженнях: пюре сливове, цукор, насіння чіа.
2. Дослідити процес сушіння і підібрати оптимальні температуру і тривалість сушіння для забезпечення сталої вологості продукту і тривалого зберігання.
3. Визначити показники якості фруктової пастили.
4. Визначити енергетичну, харчову цінність готового продукту, показник глікемічності.

Матеріали і методи. При проведенні досліджень використовувалися такі види сировини: цукор органічний (ТМ Добрик), слива органічна (Дунайський аграрій), насіння чіа (ТМ Mamma Chia, США). Для виробництва пюре сливу ретельно промивали, звільняли від кісточок, бланшували (за температури 100...105°C) до розм'якшення. Бланшовану сливу подрібнювали блендером і перетирали через сито з діаметром вічок 1—1,5 мм. Показники якості сировини наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості сировини

| Показник | Сливове пюре | Цукор білий | Насіннячіа |
|--------------------------------|--|--|--------------------------------|
| Зовнішній вигляд, консистенція | Однорідна маса, без включень грудочок/плодів, плодоніжок, кісточок, насіння і шкірочки | Однорідний кристалічний, без сторонніх домішок | Насіння, без сміттєвих домішок |
| Колір | Темно-червоний | Білий | Чорний |
| Смак і запах | Властивий сливі, добре виражений, без стороннього смаку та запаху | Солодкий, без стороннього смаку та запаху | Властивий насінню чіа |
| Вміст СР, % | 13,0 | 99,85 | 93,0 |
| Загальна кислотність, град | 16,0 | — | — |

Для приготування фруктової маси пастили до сливового пюре додавали цукор, насіння чіа, ретельно перемішували і рівномірним шаром розкладали на пергамент для сушіння. Під час сушіння здійснювали вимірювання маси зразків через кожні 45 хв. Сушіння проводили за допомоги сушильної шафи МКУ 04Е «Борисфен» за температури 65...70°C.

Експериментальні дослідження виконувалися на базі лабораторій кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів НУХТ.

Органолептичні показники якості сировини визначали за методиками вхідного контролю сировини і напівфабрикатів [7], визначення масової частки сухих речовин у пюре проводили рефрактометричним методом на рефрактометрі РПЛ — 3, загальної кислотності пюре — титруванням 0,1 моль/дм³ розчином гідроксиду натрію, масової частки вологи в напівфабрикаті і готовій продукції — методом прискореного висушування в СЕШ-3 [7]. Масову частку редукуючих речовин у пастилі визначали прискореним мідно-лужним методом, що ґрунтується на взаємодії редукуючих цукрів дослідного розчину продукту з іоном міді (II), комплексно зв'язаним із сіллю винної кислоти.

Визначення харчової цінності пастили проводили за відсотком забезпечення добової потреби людини в харчових елементах відповідно до Додатків № 9, 10 до Закону України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» [10]. Розрахунок проводили для осіб віком 18 років.

Математико-статистичну обробку результатів отриманих досліджень здійснювали за допомоги програмного забезпечення Microsoft Office 2016.

Результати досліджень. На першому етапі досліджень було визначено оптимальну кількість насіння чіа в рецептурі сливової пастили. Підбір кількості насіння було здійснено за органолептичними показниками готової пастили, тобто таким чином, щоб забезпечити приємні, ненав'язливі смакові відчуття у споживача. Обов'язково враховували, що готова пастила внаслідок зменшення вологовмісту є концентратом, і кількість добавок, що додаються, набагато підвищується щодо сухих речовин продукту. Для експериментальних досліджень були використані такі зразки: а) контроль — сливове пюре + цукор (15%); б) сливове пюре + цукор (15%) + насіння чіа (10%).

Було з'ясовано, що в процесі сушіння суттєво змінюється маса виробів та органолептичні показники. Маса зменшилась у 3 рази — для контрольного зразка сливової пастили з цукром, у 2,4 рази — для пастили сливової з насінням чіа. Тобто зразок пастили з насінням чіа має більший вихід готової продукції, що пояснюється утриманням вологи полісахаридами насіння під час висушування. Це надає більшої пластичності готовому продукту і він не кришиться під час подальшого фігурного формування, нарізання і пакування. Колір змінюється з фіолетового на темно-бордовий. Також відмічено, що при додаванні 10% насіння пастила має дуже виражений смак насіння, який превалює над ароматом сливового пюре. Згідно з отриманими результатами дослідження було прийнято рішення зменшити дозування насіння і в подальших дослідженнях кількість доданого насіння складала 3% до маси пюре. Зміну маси досліджуваних зразків у процесі сушіння наведено в табл. 2, органолептичні показники готової пастили — в табл. 3.

Таблиця 2. Зміна маси пастили під час сушіння

| Зразок | Час висушування, хв | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 | 360 |
| | Маса зразка, г | | | | | | | | |
| Контроль | 84,21 | 72,34 | 64,23 | 54,37 | 45,68 | 37,12 | 32,12 | 29,45 | 28,21 |
| Слива з чіа | 82,78 | 75,35 | 66,26 | 58,23 | 49,84 | 41,72 | 35,92 | 32,11 | 29,18 |

Таблиця 3. Органолептичні показники сливової пастили з насінням чіа

| Зразок | Показники | | |
|-------------|---|--|--|
| | Зовнішній вигляд | Колір | Смак і запах |
| Слива | Рівномірно рівна поверхня пастили, липка на дотик | Фіолетовий, характерний сливі | Відчувається смак сливи, помірний кисло-солодкий |
| Слива з чіа | Щільна, липка поверхня, рівномірно покрита чіа | Фіолетовий, притаманий сливі з чорним насінням | Відчутний смак сливи, приємний присмак чіа |

Згідно з результатами табл. 2 та 3 можна зробити висновок, що в процесі сушіння контрольний зразок швидше втрачає вологу порівняно з дослідними зразками пастили з насінням чіа. Постійної маси зразки набувають після 6 год сушіння.

Кількість насіння чіа в пастильній масі — 3% до маси пюре, сприяла покращенню органолептичних показників готового продукту. Пастилі притаманні приємні аромат та смак, відчувається насіння, яке гармонізує із смаком сливи.

Усі вироби набувають масової частки СР 74,0%, загальна кислотність — 16,0 град, масова частка РР в готовій пастилі «Слива з чіа» — 11,3%, табл. 4.

Зважаючи на отримані результати, запропоновано рецептуру пастили фруктовій «Слива з чіа», табл. 5.

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники готової продукції

| Назва показника | «Слизова з чаїа» |
|-------------------------------------|------------------|
| Загальна кислотність, град | 16,0±0,3 |
| Масова частка СР, % | 74,0±0,5 |
| Масова частка редукуючих речовин, % | 11,3 |

Таблиця 5. Уніфікована рецептура «Слизова з чаїа»

| Найменування сировини | М.ч. СР,% | Витрати сировини на 1 т готової продукції, кг | |
|------------------------|-----------|---|--------|
| | | в натурі | в СР |
| Пюре сливове органічне | 13,00 | 2410,06 | 313,31 |
| Цукор білий органічний | 99,85 | 361,44 | 360,90 |
| Насіння чаїа органічне | 93,00 | 72,23 | 67,17 |
| Всього | — | 2843,73 | 741,38 |
| Вихід | 74,00 | 1000,00 | 740,00 |

Виробництво сливової пастили з додаванням насіння чаїа здійснюється періодичним способом. Пастильну масу готують у змішувачі, до якого подається сливове пюре, цукор, насіння чаїа. Суміш перемішується 2 хв і за допомогою шестеренчастого насоса перекачується в проміжну ємкість. Далі пастильну масу плунжерним насосом-дозатором подають на відливальну машину і формують на лотки у вигляді пласта. Лотки поміщають на стелажні візки і направляють у сушильну камеру для сушіння при температурі 65—70°C 6 год. Після висушування пастилу скручують на столах, нарізають і пакують. Для зберігання пастили в складських приміщеннях підтримують температуру не більше 20°C за відносної вологості повітря 70...75%.

У готовій пастилі визначили енергетичну цінність, яка складає 288 ккал 1205 кДж, визначили харчову цінність (табл. 5) і розрахували показник глікемічності.

Таблиця 6. Харчова цінність пастили «Слизова з чаїа»

| Функціональний інгредієнт | Добова потреба (ДП) | Слизова з чаїа | |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| | | Фактичний вміст | Задоволення ДП, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Білки, г | 76 | 3,0 | 3,9 |
| Жири, г | 77 | 2,9 | 3,8 |
| Вуглеводи, г | 350 | 65,7 | 18,8 |
| Харчові волокна, г | 20 | 7,04 | 35,2 |
| ПНЖК, г | 12 | 1,87 | 15,6 |
| Макроелементи: | | | |
| Калій, мг | 2500 | 586,32 | 23,5 |
| Кальцій, мг | 1000 | 104,08 | 10,4 |
| Магній, мг | 400 | 24,12 | 6,0 |
| Фосфор, мг | 800 | 129,44 | 16,2 |
| Мікроелементи: | | | |
| Залізо, мг | 18 | 1,34 | 7,4 |
| Марганець, мг | 2 | 0,46 | 23,0 |
| Мідь, мг | 1 | 0,26 | 26,0 |
| Цинк, мг | 12 | 0,60 | 5,0 |

Продовження таблиці 6

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|-----|------|------|
| Вітаміни: | | | |
| вітамін Е, мг | 15 | 1,61 | 10,7 |
| вітамін В2, мг | 1,8 | 0,11 | 6,1 |
| вітамін В5, мг | 5 | 0,40 | 8,0 |
| вітамін С, мг | 90 | 26,8 | 29,8 |
| вітамін РР, мг | 20 | 1,88 | 9,4 |

Як свідчать дані таблиці, пастила «Слива з ча́», відрізняється високим вмістом харчових волокон, поліненасичених жирних кислот, — 15,6% від добової потреби; калієм — на 23,5%, фосфором — на 16,2%, марганцем — на 23%, міддю — на 26%, вітаміном С — на 29%, кальцієм, залізом, вітаміном РР. Отже, органічна сливова пастила з додаванням насіння ча́ забезпечує організм людини високим вмістом БАР.

Знаючи показник глікемічності, можна об'єктивно оцінити глікемічність виробів. Харчові продукти за глікемічним індексом поділяються на три групи: $ГІ < 55$ — з низьким глікемічним індексом; $55 < ГІ < 75$ — із середнім глікемічним індексом; $ГІ > 75$ — з високим глікемічним індексом. Авторами [6] розроблено методику визначення показника глікемічності, згідно з якою визначають показник глікемічності шляхом математичного розрахунку з урахуванням поїменної кількості вуглеводів у 100 г готового продукту та їх глікемічного індексу. Зроблений відповідно до вищевказаної методики розрахунок показав, що пастила «Слива з ча́» має показник глікемічності 36,87 од і вважається продуктом з низьким глікемічним індексом. Отже, її можна вживати всім групам населення.

Висновки. Обґрунтовано, що оптимальна кількість насіння ча́ для пастили сливової становить 3% до маси пюре. Встановлені технологічні режими сушіння — 6 год за температури 65—70°C. З'ясовано, що споживання пастили «Слива з ча́» забезпечує організм людини високим вмістом харчових волокон, поліненасиченими жирними кислотами, калієм, фосфором, марганцем, міддю, вітаміном С, кальцієм, залізом, вітаміном РР. Органічна сливова пастила відноситься до продуктів з низьким глікемічним показником, що дозволяє її споживати всім верствам населення, має низьку енергетичну цінність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко Л. Обґрунтування та розроблення способу отримання пастили оздоровчої дії з використанням пюре інжиру та агрусу /Л. Михайленко, А. Башта // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека», 14-15 листопада 2018 р., м. Київ. — К.: НУХТ, 2018 р. — С. 36—37.
2. Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Лигач Д. Органічні кондитерські вироби. Збірник праць учасників ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека» (27—28 травня 2021 року). Житомир: Поліський національний університет, 2021. — С. 239—245.
3. Патент на корисну модель № 99387 України, МПК А23G 3/00 А23G 3/50. Спосіб виробництва листкових солодощів на ягідно-фруктовій основі. / О. М. Большакова, заявник і патентовласник О. М. Большакова. — № u 2015 02401; заяв. 17.03.2015. — опубл. 25.05.2015.
4. Сливи: користь та шкода? Режим доступу: <https://medfond.com/korysni-produkty/slivi-korista-shkoda.html>.
5. Насіння ча́ — користь чи шкода? Режим доступу: <https://medfond.com/korysni-produkty/nasinnya-chia-korist-chi-shkoda.html>.
6. Дорохович, А. М., Ковбаса, В. М., Гуліч, М. П., Дорохович, В. В., Яременко, О. М. (2009). Патент України 40623 «Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту», Київ: Державне патентне відомство України.

7. Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів : навч. посіб. / за ред. проф. А. М. Дорохович і проф. В. М. Ковбаси — К.: НУХТ, 2015. — 632 с.

8. Патент на корисну модель № 120447 України, МПК А23G 3/34 А23L 21/00. Спосіб виробництва листової фруктової пастили. / Г. Ю. Оліфіренко, заявник і патентовласник Г. Ю. Оліфіренко. — № u 2017 08761; заяв. 31.08.2017. — опубл. 25.10.2017.

9. Патент на корисну модель № 61598 України, МПК А23G 3/24 А23G 3/48. Склад пастильних кондитерських виробів підвищеної біологічної цінності. / Г. Б. Рудавська, Н. П. Шаповалова, заявник і патентовласник Г. Б. Рудавська, Н. П. Шаповалова. — № u 2010 15473; заяв. 21.12.2010. — опубл. 25.07.2011. — Бюл. № 14.

10. Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів [закон України: [закон України: // Відомості Верховної Ради України . — 2019. — № 7. — 41 ст.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРУКТОВОЙ ПАСТИЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю. В. Камбулова, О. А. Кохан, Н. В. Алексеенко, Д. В. Ворочек, О. С. Щирская
Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализирована возможность получения органической фруктовой пастилы — кондитерского изделия с высоким содержанием биологически активных веществ. В качестве основы для ее производства использовано пюре из органических слив (ООО Дунайский аграрий), органический белый сахар (ТМ Добрик) и органические семена чиа (ТМ Матта Chia), что дополнительно обогащает питательную и биологическую ценность пастилы.

Оптимизирован рецептурный состав пастилы, усовершенствована технологическая схема ее производства. Установлены технологические режимы сушки — 6 часов при температуре 65—70°C.

Рассчитано, что потребление пастилы «Сливовая с чиа» обеспечивает организм человека высоким содержанием пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, калием, фосфором, марганцем, медью, витамином С, кальцием, железом, витамином РР. Органическая сливовая пастила имеет низкую энергетическую ценность, характеризуется как продукт с низким гликемическим показателем, позволяющим ее употреблять всем категориям населения.

Ключевые слова: органические изделия, фруктовая пастила, семена чиа, функциональные пищевые продукты.

УДК 613.2:664.664.4]:664.2

USE OF RESISTANT STARCH IN FUNCTIONAL CAKE TECHNOLOGY

A. Avramenko*National University of Food Technologies***O. Hrabovska***State University of Trade and Economics*

Key words:

starch,
resistance,
modification,
cake

Article history:

Received 15.11.2021

Received in revised form
17.11.2021

Accepted 24.11.2021

Corresponding author:

aad.27077@gmail.com

ABSTRACT

With the development of science and technology, people's nutrition issues and the development of food technologies for health and prevention are becoming increasingly important. Food must not only meet the basic needs of the body with nutrients, but also help maintain good health and fitness, prevent and eliminate the negative effects of some diseases.

The article explores the feasibility of using resistant starch to create functional products. A scheme for obtaining modified resistant starch was developed and its resistance to the action of digestive enzymes was studied using the method for determining reducing substances with 3,5-dinitrosalicylic acid. It has been proven that modified resistant starch obtained from 5% paste has the highest resistance to enzymes. The recipes of cakes with the replacement of 15, 30, 45% of flour with modified resistant starch have been studied. The recipe for the cake "Stolichny" was taken as the basis. The organoleptic properties of the resulting cakes were evaluated on a 30-point scale and the area of quality profilograms. Cake "Novinka" with the replacement of 30% of flour with modified resistant starch had the best performance. Calculations have shown a decrease in the glycemic index of the "Novinka" cake compared to the "Stolichny" cake by 4,79 units. and calories by 41.01 kcal due to the use of modified resistant starch in the cake recipe.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-9

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗИСТЕНТНОГО КРОХМАЛЮ У ТЕХНОЛОГІЇ КЕКСІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

А. Д. Авраменко, аспірант

Національний університет харчових технологій

О. В. Грабовська, д-р техн. наук

Державний торговельно-економічний університет

У статті досліджено доцільність використання резистентного крохмалю для створення функціональних продуктів. Розроблено схему отримання модифікованого резистентного крохмалю і досліджено його стійкість до дії травних ферментів з використанням методу визначення редукувальних речовин з 3,5-динітросалициловою кислотою. Доведено, що модифікований резистентний крохмаль, отриманий з 5% клейстеру, має найвищу стійкість до дії ферментів. Досліджено рецептури кексів із заміною 15, 30, 45% борошна на модифікований резистентний крохмаль. За основу було взято рецептуру кексу «Столичний». Органолептичні властивості отриманих кексів оцінювали за 30-бальною шкалою і площею профілограм якості. Кекс «Новинка» із заміною 30% борошна на модифікований резистентний крохмаль мав найкращі показники. Розрахунки підтвердили зниження показника глікемічності кексу «Новинка» порівняно з кексом «Столичний» на 4,79 од і калорійності на 41,01 ккал завдяки використанню модифікованого резистентного крохмалю в рецептурі кексу.

Ключові слова: крохмаль, резистентність, модифікація, кекс.

Постановка проблеми. З розвитком науки і техніки все більшого значення набувають питання харчування населення та розроблення технологій харчових продуктів оздоровчого і профілактичного призначення. Їжа має не лише задовольняти основні потреби організму в поживних речовинах, а й сприяти підтримці здоров'я та фізичної форми людини, запобігати й усувати негативні наслідки певних захворювань.

Резистентні види крохмалю у світі активно використовуються для створення продуктів функціонального призначення. Європейський ринок цих нутрієнтів оцінюється в 90 млн євро. Корпорація «National Starch Food Innovation» виготовляє комерційні препарати резистентних крохмалів (РК) під зареєстрованою маркою «Hi-maize», які використовуються у кількості 20—30% рецептурного складу у хлібопеченні і виробництві макаронних виробів [1].

Усі харчові крохмалі можна розділити на глікемічні (легкозасвоювані) і резистентні (незасвоювані або складнозасвоювані) види. Важливим є той факт, що з двох полісахаридів крохмалю, присутніх в продуктах (амілози і амілопектину), гірше розщеплюються ферментами продукти, що містять великі кількості амілози — лінійного полісахариду. Загалом, засвоювані крохмалі розщеплюються (гідролізуються) ферментами α -амілазою, глюкоамілазою та ізомальтазою в тонкому кишечнику з утворенням вільної глюкози, яка потім всмоктується в кров. Однак не весь крохмаль, що міститься в їжі, перетравлюється і всмоктується в тонкому кишечнику. Резистентний (стійкий) крохмаль відноситься до частини крохмалю та крохмальних продуктів, які не перетравлюються при проходженні через шлунково-кишковий тракт [2].

Резистентні види крохмалю були у 1992 р. визначені EURESTA як «сума крохмалю і продуктів деградації крохмалю, які недоступні для ферментації в тонкій кишці». Останніми роками цей вид рослинного крохмалю знаходиться під пильним спостереженням вчених різних країн. Резистентні види крохмалю поєднують функціональні властивості харчових волокон і пребіотиків та виявляють профілактичний ефект у харчуванні людини.

Резистентний крохмаль класифікують на чотири загальні підтипи, які називаються РК1, РК2, РК3 і РК4. РК1 — фізично недоступний крохмаль, який міститься в цільних або частково подрібнених зернах чи насінні, що мають тверду волокнисту оболонку, яка заважає нашій травній системі до них дістатися. РК2 — деякі типи крохмальних гранул, які ферменти травної системи людини не можуть розщепити (такі як крохмаль сирої картоплі і недостиглих бананів), та високоамілозний крохмаль (кукурудзяний з високим вмістом амілози). РК3 — ретроградований крохмаль, отриманий при швидкому охолодженні приготованих крохмалевмісних продуктів, таких як рис і варена картопля (резистентний крохмаль міститься в таких продуктах в незначній кількості — не більше 5%). РК4 — вид резистентного крохмалю, який не зустрічається в природі, а виробляється промисловим способом унаслідок хімічної або фізичної модифікації для отримання стійкості до дії ферментів (наприклад, деякі етери і естри крохмалю, шиті крохмалі) [3].

Резистентний крохмаль типу РК3 викликає особливу зацікавленість через його термічну стабільність при проведенні більшості звичайних операцій приготування їжі, що дає змогу використовувати його як інгредієнт у широкому спектрі звичайних продуктів. Обробка харчових продуктів, яка включає дію вологи і теплоти, в більшості випадків руйнує крохмаль типів РК1 і РК2, але може сприяти утворенню типу РК3, який має більшу водоутримувальну здатність, ніж природний крохмаль.

Близько 80—90% глюкози, що утворюється в результаті ферментативного гідролізу нативного крохмалю, метаболізується в організмі людини. Більшість досліджень показали, що РК живить корисні бактерії в кишечнику і збільшує виробництво коротколанцюгових жирних кислот, таких як масляна кислота. Загальна засвоюваність РК залежить від категорії та джерела спожитого РК [4].

Відомі способи отримання резистентного крохмалю типу РК3 шляхом заморожування-відтавання крохмальних клейстерів. Унаслідок нагрівання суспензії крохмалю відбувається клейстеризація крохмальних зерен з утворенням драгледоподібної системи. Під час заморожування клейстеру в ньому утворюються кристали льоду, що призводить до ущільнення полісахаридних ланцюгів (ретроградації) з утворенням міцних надмолекулярних структур. У процесі відтавання відбувається синерезис води з крохмальної сітки. Комбінація етапів заморожування-відтавання призводить до утворення резистентного крохмалю [5].

РК представляють великий інтерес для виробників харчових продуктів з двох причин. По-перше, через їх потенційну фізіологічно корисну дію на організм людини, по-друге, унікальні функціональні властивості, які дають змогу отримати вироби високої якості, що неможливо при використанні традиційних нерозчинних харчових волокон [6]. РК використовують у виробництві мюслів, снєків, ферментованих молочних виробів з низьким вмістом жирів, шоколаду тощо [7].

РК також використовують у технологіях борошняних кондитерських виробів, таких як кекси, мафіни, пряники тощо [4]. РК змінюють текстуру цих виробів, сприяючи пом'якшенню м'якушки. Порівняльний аналіз впливу різних харчових волокон на кекси з низьким вмістом жирів свідчить, що РК найменше впливають на

реологічні характеристики тіста. Таким чином, збагачення кексів РК, що виконують функції харчових волокон, дозволяє не змінювати технологічні параметри виробництва [8].

РК привертають до себе увагу як новий тип харчових волокон, а також харчовий інгредієнт, присутність якого надає продуктам нових функціональних властивостей. Харчові продукти, що містять РК, як нерозчинні волокна, збільшують відчуття насичення, втамовують голод, що запобігає надлишковому споживанню їжі та, відповідно, знижують ризики ожиріння [7].

Значний сегмент у харчуванні українців займають хлібобулочні та борошняні кондитерські виробы (печиво, кекси, тістечка, пряники, тощо). Проте важливим недоліком цієї групи продуктів є невисока фізіологічна цінність, що характеризуються високим вмістом вуглеводів та жирів, надлишкове вживання яких негативно впливає на організм. Тому, зважаючи на порівняно низький вміст харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин та поліненасичених жирних кислот борошняних кондитерських виробів, як продукту масового вжитку, актуальним є коригування їх хімічного складу з метою надання функціональних властивостей [9].

Мета дослідження: визначити і порівняти стійкість до ферментативного гідролізу (резистентність) нативного і модифікованих видів картопляного крохмалю, отриманих з клейстерів різної концентрації, і розробити рецептуру кексу функціонального призначення з резистентним крохмалем.

Матеріали і методи. Для досліджень було приготовлено зразки модифікованого резистентного картопляного крохмалю згідно з технологічною схемою, представленою на рис. 1.

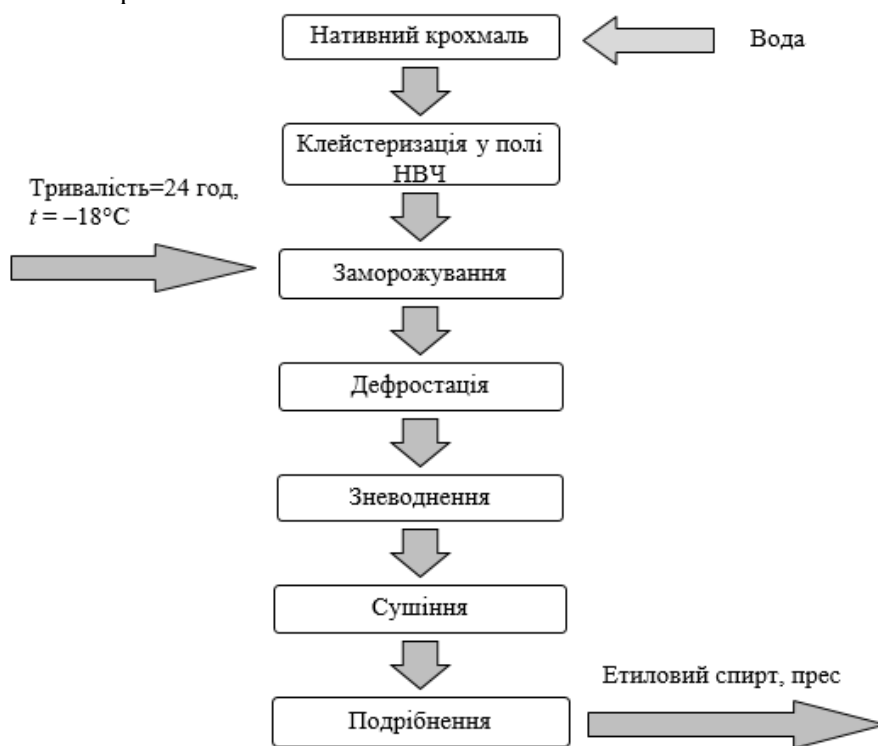


Рис. 1. Принципова технологічна схема отримання модифікованого резистентного крохмалю

Методика визначення резистентності [10]. Резистентність визначали за методикою з використанням препарату «Панкреатин», що містить травні ферменти, за залишковим вмістом редукувальних речовин після ферментативного гідролізу крохмалю.

Для визначення ступеня резистентності до 2 г досліджуваного крохмалю додавали 10 см³ дистильованої води і 10 см³ розчину препарату «Панкреатин» (готували 100 см³ розчину, що відповідає 4500 амілолітичним одиницям активності), витримували зразки на водяній бані при температурі 37°C протягом 60 хв. Потім відокремлювали рідку фазу від крохмалю, відбирали 1 см³ фільтрату і досліджували на вміст РР (в перерахунку на глюкозу) за допомогою кольорової реакції з 3,5-динітросаліциловою кислотою. Кількість РР дає уявлення про розщеплення крохмалю травними ферментами протягом години.

Кількість редукувальних речовин (РР) в перерахунку на глюкозу, утворених внаслідок гідролізу модифікованого і нативного видів крохмалю, ферментним препаратом «Панкреатин», визначали методом з 3,5-динітросаліциловою кислотою [11]. Для визначення кількості РР в перерахунку на глюкозу в досліджуваних зразках використовували калібрувальний графік.

Для розроблення рецептури кексу «Новинка» як базову було обрано рецептуру кексу «Столичний» (табл. 1) [12]. Для порівняння кексів, отриманих з додаванням модифікованого РК і за базовою рецептурою (контроль), використовували методи оцінювання в балах за розробленою 30-бальною шкалою і побудови багатокутників якості [13].

Результати і обговорення. Властивості модифікованого РК і ступінь резистентності залежать від концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню-відтаванню. Концентрація клейстеру впливає на льодоутворення в системі, оскільки спочатку замерзає вільна вода, а потім зв'язана полісахаридами крохмалю. Залежно від концентрації клейстеру в структурі ретроградованого крохмалю змінюються розміри пор і сорбційні властивості крохмалю. Результати дослідження резистентності картопляного нативного і модифікованого крохмалю представлені на рис. 2.

Отримані результати досліджень показують, що крохмаль, який піддавали модифікації, має більшу стійкість до ферментативного гідролізу, ніж нативний. Зі зростанням концентрації клейстеру, з якого був приготовлений модифікований РК, зменшується його стійкість до дії ферментів, оскільки при гідролізі утворюється більша кількість редукувальних речовин. Модифіковані РК, отримані з 5% клейстерів, мають більший розмір пор, з підвищенням концентрації крохмальних клейстерів розмір пор зменшується [14].

Модифікований РК використали в рецептурі кексу як замітник частини пшеничного борошна. Використання резистентного крохмалю надає можливість знизити калорійність і глікемічність виробу. Вживання виробів з часткою резистентного крохмалю сприяє здоров'ю травної системи і поліпшує контроль рівня цукру в крові та зменшує чутливість до інсуліну.

Органолептичні показники досліджуваних зразків кексів визначали методом сенсорного аналізу та шляхом дегустації з бальною оцінкою за сумою органолептичних показників.

Рецептури кексів звичайного і з додаванням резистентного крохмалю на 1 кекс масою 100 г готового продукту представлено у табл. 1. Для порівняння обрано базову рецептуру кексу «Столичний». У рецептурі кексу використовували резистентний картопляний крохмаль, отриманий з 5% клейстеру, оскільки він показав найменші значення вмісту РР в перерахунку на глюкозу після гідролізу травними ферментами

(рис. 2). Для цього в рецептурі кексу «Новинка» частину борошна (15, 30 і 45%) замінювали резистентним крохмалем. Рецептури контрольного зразка і кексів «Новинка» з різним вмістом резистентного крохмалю представлено в табл. 1.

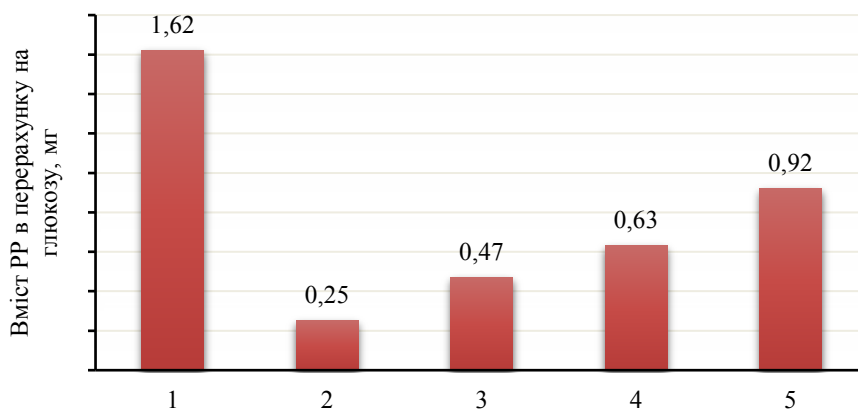


Рис. 2. Вміст РР в перерахунку на глюкозу, яка утворилася при гідролізі картопляного крохмалю: 1 — нативного; модифікованого, отриманого з клейстеру концентрацією: 2 — 5%; 3 — 10%; 4 — 15%; 5 — 20%

Таблиця 1. Рецептури кексів «Столичний» і «Новинка»

| Інгредієнт, г | Кекс «Столичний» (контроль) | Кекс «Новинка» (зразок 1) | Кекс «Новинка» (зразок 2) | Кекс «Новинка» (зразок 3) |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Борошно пшеничне вищого гатунку | 25,6 | 21,76 | 17,92 | 14,08 |
| Кріомодифікований крохмаль | — | 3,84 | 7,68 | 11,52 |
| Цукор | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,3 |
| Маргарин | 19,2 | 19,2 | 19,2 | 19,2 |
| Сіль | 0,077 | 0,077 | 0,077 | 0,077 |
| Родзинки | 19,2 | 19,2 | 19,2 | 19,2 |
| Есенція | 0,077 | 0,077 | 0,077 | 0,077 |
| Амоній вуглекислий | 0,079 | 0,079 | 0,079 | 0,079 |
| Вихід у сухих речовинах | 83,5 | 83,5 | 83,5 | 83,5 |
| Вихід в натурі, г | 100 | 100 | 100 | 100 |

Для розробки бальної шкали оцінювання органолептичних показників було взято такі параметри: форма, стан поверхні, колір скоринки, структура пористості, аромат, смак, розжовування м'якушки. Для визначення коефіцієнтів значущості, з метою розробки 30-бальної шкали, був використаний метод експертних оцінок. Кожен показник оцінювався балами: 1,5 — дуже суттєвий, 1 — суттєвий, 0,5 — несуттєвий, 0 — не варто включати в шкалу.

На основі оцінювання коефіцієнтів значущості органолептичних показників була розроблена 30-бальна шкала органолептичної оцінки якості кексів, яка представлена в табл. 2.

Таблиця 2. Результати оцінювання органолептичних показників кексів за 30-бальною шкалою

| Показник | Коефіцієнт значущості | Максимальна сума балів з урахуванням коефіцієнтів значущості |
|-----------------------|-----------------------|--|
| Форма | 1 | 5 |
| Стан поверхні | 0,5 | 5/2,5 |
| Колір скоринки | 1 | 5 |
| Структура пористості | 0,5 | 5/2,5 |
| Аромат | 0,5 | 5/2,5 |
| Смак | 1,5 | 5/7,5 |
| Розжовування м'якушки | 1 | 5 |
| Усього | — | 30 |

На основі оцінок, отриманих під час сенсорного аналізу готових кексів, було побудовано зведену таблицю середніх оцінок кожного зразка (табл. 3).

Таблиця 3. Органолептична оцінка кексів контрольного і дослідних зразків з додаванням модифікованого резистентного крохмалю

| Показник | Коефіцієнт вагомості | Кекс «Столичний» | Кекс «Новинка» зразок 1 | Кекс «Новинка» зразок 2 | Кекс «Новинка» зразок 3 |
|-----------------------|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Форма | 1 | 4 | 4,5 | 4,75 | 4,3 |
| Стан поверхні | 0,5 | 4,5/2,25 | 4,5/2,25 | 4,7/2,35 | 4,2/2,1 |
| Колір скоринки | 1 | 5 | 5 | 5 | 4,7 |
| Структура пористості | 0,5 | 4/2 | 4,5/2,25 | 5/2,5 | 4,7/2,35 |
| Аромат | 0,5 | 5/2,5 | 5/2,5 | 5/2,5 | 5/2,5 |
| Смак | 1,5 | 4,5/6,25 | 4,8/7,2 | 5/7,5 | 4,5/6,75 |
| Розжовування м'якушки | 1 | 4,5 | 4,6 | 4,75 | 4,75 |
| Усього | — | 26,5 | 28,3 | 29,35 | 27,45 |

Кекси можна оцінити за площею багатокутників якості (рис. 3), побудованих за даними табл. 3.

З отриманих результатів видно, що найкращі показники за експертним оцінюванням, а також площею багатокутника якості, а саме 144,57, має кекс «Новинка» зразок 2 (далі «Новинка»), із заміною борошна на модифікований РК у кількості 30%. Кекс «Новинка» зразок 1 має площу багатокутника якості 133,83, що менше ніж значення для зразку 2. Кекс «Столичний» отримав дещо нижчі оцінки і площа багатокутника якості для цього зразка найменша — 123,25, що не значно відрізняється від кексу «Новинка» (зразок 3). Робимо висновок що заміна борошна модифікованим РК на 45% погіршує якість кексів.

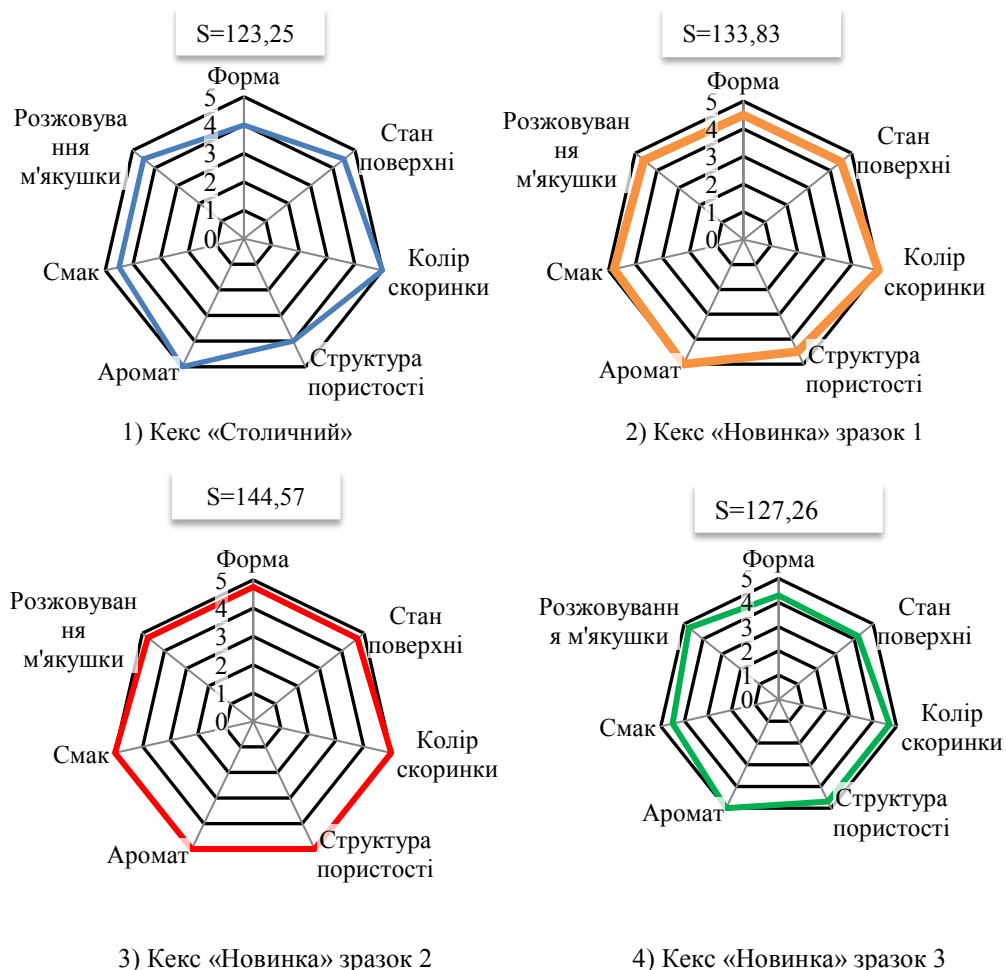


Рис. 3. Профілограми якості кексів «Столичний» (базова рецептура) і «Новинка» (з резистентним крохмалем)

Отже, збагачення кексів РК, які виконують функції харчових волокон, дає змогу не змінювати технологічні параметри виробництва [7]. З літературних джерел відомо, що додавання резистентного крохмалю до рецептури кексів змінює текстуру, сприяючи пом'якшенню м'якушки. Також РК, порівняно з харчовими волокнами, найменше впливає на реологічні характеристики тіста. Збагачення кексів РК, які виконують функції харчових волокон, дає змогу не змінювати технологічні параметри виробництва [4, 7, 15]. Також, кекси приготувані з додаванням резистентного крохмалю характеризувалися зменшеною втратою вологи протягом двох тижнів зберігання, порівняно з контрольними зразками [15]. Ці дані підтверджуються балами експертного оцінювання за показником «розжовування м'якушки». Найкращі бали мали кекси з заміною пшеничного борошна на РК у кількості 30 і 45%.

Кекси оцінювали за показником глікемічності (ІПГ) (табл. 4), який розраховували за методикою розробленою в НУХТ [16] з урахуванням глікемічного індексу вуглеводів і їх вмісту у 100 г готового виробу.

Таблиця 4. Кількісний розрахунок вмісту вуглеводів та показника глікемічності у кексі «Столичний»

| Вид сировини | Вміст, г в 100 г кексу | Вміст вуглеводів | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------|--|---------------|--------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | сахароза (ГІ=65%) | | мальтоза (ГІ=105%) | | глюкоза (ГІ=100%) | | фруктоза (ГІ=20%) | | крохмаль (ГІ=70%) | |
| | | в 100 г сировини | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Борошно | 25,6 | 0,11 | 0,028 | 0,05 | 0,013 | 0,02 | 0,005 | 0,02 | 0,005 | 67,7 | 17,33 |
| Цукор білий | 19,3 | 99,85 | 19,27 | — | 0,00 | — | 0,00 | — | 0,00 | — | 0,00 |
| Родзинки | 19,2 | 0,5 | 0,096 | — | — | 7,3 | 1,4 | 0,5 | 0,096 | — | 0,00 |
| Сума | | 19,394 | | 0,013 | | 1,405 | | 0,101 | | 17,33 | |
| ПГ | | ПГ=19,394·0,65+0,013·1,05+1,405·1+0,101·0,2+17,33·0,7=26,29 од | | | | | | | | | |

У табл. 5 під № 1 — борошно пшеничне, № 2 — модифікований резистентний крохмаль, № 3 — цукор білий, № 4 — родзинки.

Також розраховано калорійність кексу «Столичний» і кексу «Новинка». Калорійність резистентного крохмалю становить 1,7 ккал на 1 г, тобто 170 ккал на 100 г [7].

Таблиця 5. Кількісний розрахунок вмісту вуглеводів та показника глікемічності у кексі «Новинка»

| № | Вміст, г в 100 г кексу | Вміст вуглеводів | | | | | | | | | | | |
|------|------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | сахароза (ГІ=65%) | | мальтоза (ГІ=105%) | | глюкоза (ГІ=100%) | | фруктоза (ГІ=20%) | | крохмаль (ГІ=70%) | | резистентний крохмаль (ГІ=0%) | |
| | | в 100 г сировини | в 100 г кексу, 10 ² | в 100 г сировини, 10 ² | в 100 г кексу | в 100 г сировини, 10 | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу, 10 ³ | в 100 г сировини | в 100 г кексу | в 100 г сировини | в 100 г кексу |
| 1 | 17,92 | 0,11 | 1,97 | 5 | 8,9·10 ³ | 0,2 | 3,6·10 ³ | 0,02 | 3,66 | 67,7 | 12,13 | | 0,00 |
| 2 | 7,68 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | 100 | 7,68 |
| 3 | 19,3 | 99,85 | 19,27 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | |
| 4 | 19,2 | 0,5 | 0,096 | | 0,00 | 73 | 1,4 | 0,5 | 96,0 | | 0,00 | | |
| Сума | | 19,386 | | 0,0089 | | 0,4036 | | 0,0996 | | 12,13 | | 7,68 | |
| | | ПГ=19,386·0,65+0,0089·1,05+0,4036·1+0,0996·0,2+12,13·0,7+7,68·0,0=21,5 од | | | | | | | | | | | |

Таблиця 6. Калорійність інгредієнтів, які входять до складу кексу «Столичний»

| Найменування сировини | Кількість калорій у 100 г, ккал | Кількість сировини, г | Кількість калорій у виробі, ккал |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Борошно пшеничне вищого гатунку | 364 | 25,6 | 93,18 |
| Цукор | 374 | 19,3 | 71,18 |
| Маргарин | 717 | 19,2 | 197,66 |
| Сіль | 0 | 0,0077 | 0 |
| Родзинки | 299 | 19,2 | 57,41 |
| Есенція | 0 | 0,0077 | 0 |
| Амоній вуглекислий | 0 | 0,079 | 0 |
| Всього | | | 419,43 |

Таблиця 7. Калорійність інгредієнтів, які входять до складу кексу «Новинка»

| Найменування сировини | Кількість калорій у 100 г, ккал | Кількість сировини, г | Кількість калорій у виробі, ккал |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Борошно пшеничне вищого гатунку | 364 | 17,92 | 65,22 |
| Модифікований РК | 170 | 7,68 | 13,05 |
| Цукор | 374 | 19,3 | 71,18 |
| Маргарин | 717 | 19,2 | 197,66 |
| Сіль | 0 | 0,0077 | 0 |
| Родзинки | 299 | 19,2 | 57,41 |
| Есенція | 0 | 0,0077 | 0 |
| Амоній вуглекислий | 0 | 0,079 | 0 |
| Всього | | | 378,42 |

Розрахунки показали, що з додаванням до рецептури модифікованого РК знижується показник глікемічності і калорійність кексу. Показник глікемічності зменшується на 4,79 од, а калорійність — на 41,01 ккал.

Згідно з дослідженнями, позитивний вплив на організм виявляє споживання резистентного крохмалю в кількості 30 г на день [17]. Таким чином, споживання одного кексу масою 100 г на добу задовольняє добову потребу в резистентному крохмалі на 24,6%.

Висновки. З отриманих результатів досліджень видно, що завдяки модифікації шляхом заморожування-відтавання крохмального клейстеру стійкість картопляного крохмалю до ферментативного гідролізу збільшується. Модифікований РК, отриманий з клейстеру концентрацією 5%, найстійкіший до дії травних ферментів, при його гідролізі за визначених умов утворюється найменша кількість редукувальних речовин.

З додаванням до рецептури кексів модифікованого резистентного крохмалю покращуються органолептичні показники готових виробів порівняно з кексом «Столи-

чним». Заміна 30% пшеничного борошна на резистентний крохмаль у рецептурі кексу «Новинка» дає змогу отримати функціональний продукт з кращими органолептичними характеристиками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Garg N. K. Resistant starch: a potential impact on human health / N. K. Garg, A. Singh, D. P. Chaudhary // *International journal of current microbiology and applied sciences*. — 2017. — 6(5). — P. 2046—2057.
2. Sofi S. A. Resistant starch as functional ingredient: A review / S. A. Sofi, A. Ayoub, A. Jan // *International journal of food science and nutrition*. — 2017. — 2(6). — P. 195—199.
3. Birt D. F. Resistant starch: promise for improving human health / D. F. Birt, T. Boylston, S. Hendrich, J.-L. Jane, J. Hollis, L. Li, J. McClelland, S. Moore, G. J. Phillips, M. Rowling, K. Schalinske, M. P. Scott, E. M. Whitley // *American Society for Nutrition. Adv. Nutr.* — 2013. — 4. — P. 587—601.
4. Fuentes-Zaragoza E. Resistant starch as functional ingredient: A review / E. Fuentes-Zaragoza, M. J. Riquelme-Navarrete, E. Sánchez-Zapata, J. A. Pérez-Álvarez // *Food research international*. — 2010. — 43(4). — P. 931—942.
5. Raungrusmee S. Effects of lintnerization, autoclaving, and freeze-thaw treatments on resistant starch formation and functional properties of pathumthani 80 rice starch / S. Raungrusmee, A. K. Anal // *Foods*. — 2019. — 8. — P. 1—16.
6. A. Health benefits of resistant starch: A review of the literature / A. Bojarczuk, S. Skąpska, A. M. Khaneghah, K. Marszałek // *Journal of Functional Foods*. — 2022. — 93. — P. 1—11.
7. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / М. О. Полумбрик. — К.: Академперіодика. — 2011. — 487 с.
8. Sanz T. Evaluation of four types of resistant starch in muffin baking performance and relationship with batter rheology / T. Sanz, A. Salvador, S. M. Fiszman // *Eur. Food Res. Technol.* — 2008. — 227. — P. 813—819.
9. Дзюдзя О. В. Технологія кексів функціонального призначення // О. В. Дзюдзя / *Modern directions of theoretical and applied researches*. — 2016. — С. 1—10.
10. Dupuis J. H. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: a review / J. H. Dupuis, Q. Liu, R. Y. Yada // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. — 2014. — 13. — P. 1219—1234.
11. Naik Deshavath N. Pitfalls in the 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay for the reducing sugars: Interference of furfural and 5-hydroxymethylfurfural / N. Naik Deshavath, G. Mukherjee, V. V. Goudac, V. D. Veeranki, C. V. Sastri // *International journal of biological macromolecules*. — 2020. — 156. — P. 180—185.
12. Азгальдов Г. Г. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие / Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин, В. В. Садовов. — М.: ДеЛи, 2007. — 276 с.
13. Зайцева Г. Т., Технологія виготовлення борошняних кондитерських виробів: Підруч. для проф. — техн. навч. закладів / Г. Т. Зайцева, Т. М. Горпинко. — К.: Вікторія, 2002. — 400 с.
14. Грабовська Е. В. Применение крахмала для инкапсулирования кварцетина / Е. В. Грабовська, С. П. Бондаренко, А. С. Парняков, А. Н. Данилевич // *Научни трудове том LX «Хранителна наука, техника и технологии»* 18 — 2013. — 60. — С. 590—593.
15. Baixauli R. Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter / R. Baixauli, T. Sanz, A. Salvador, S. M. Fiszman // *Journal of cereal science*. — 2008. — 47(3). — P. 502—509.
16. Патент 40063 України МПК (2009) A231 1/10. Спосіб визначення показника глікемічності харчових продуктів / Дорохович А. М., Ковбаса В. М., Дорохович В. В., Гуліч М. П., Яременко О. М. № 2000940063; Заявл. 10.07.2008, опубл. 27.04.2009. Бюл. № 8.
17. Maziarz M. P. Resistant starch lowers postprandial glucose and leptin in overweight adults consuming a moderate-to-high-fat diet: a randomized-controlled trial / M. P. Maziarz, S. Preisendanz, S. Juma, V. Imrhan, C. Prasad, P. Vijayagopal. — *Nutrition journal*. — 2017. — 16(14). — P. 1—10.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗИСТЕНТНОГО КРАХМАЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. Д. Авраменко

Национальный университет пищевых технологий

О. В. Грабовская

Государственный торгово-экономический университет

В статье исследована целесообразность использования резистентного крахмала для создания функциональных продуктов. Разработана схема получения модифицированного резистентного крахмала и исследована его устойчивость к действию пищеварительных ферментов с использованием метода определения редуцирующих веществ с 3,5-динитросалициловой кислотой. Доказано, что модифицированный резистентный крахмал, полученный из 5% клейстера, имеет наивысшую устойчивость к действию ферментов. Исследованы рецептуры кексов с заменой 15, 30, 45% муки модифицированным резистентным крахмалом. За основу была взята рецептура кекса «Столичный». Органолептические свойства полученных кексов оценивали по 30-балльной шкале и площади профилограмм качества. Кекс «Новинка» с заменой 30% муки на модифицированный резистентный крахмал имел лучшие показатели. Расчетами доказано снижение показателя гликемичности кекса «Новинка» по сравнению с кексом «Столичный» на 4,79 ед. и калорийности на 41,01 ккал за счет использования модифицированного резистентного крахмала в рецептуре кекса.

Ключевые слова: крахмал, резистентность, модификация, кекс.

УДК 664.696.9

SAFETY AND MICROBIOLOGICAL PURITY OF POWDER OF MARE AND SHEEP MILK FOR PRODUCTION OF BABY NUTRITION

K. Belinska*Kamyanets-Podilsky Ivan Ogienko National University***N. Falendysh***National University of Food Technologies***Key words:**

safety indicators,
microbiological indicators,
milk powder,
baby food,
mare,
sheep

Article history:

Received 13.12.2021

Received in revised form
15.12.2021

Accepted 20.12.2021

Corresponding author:

kristina0612@ukr.net

ABSTRACT

Today, the issue of pollution of soils and water resources of the planet is acute. As a result, human livestock products also contain harmful contaminants. It is important to study the safety indicators of milk. Given the urgency of the problem of milk safety in assessing the microbiological risk of dangerous microorganisms that cause foodborne illness in children, it is appropriate to focus on this problem, in particular the need for research in this area. Cow's milk is mainly used to make milk flour. Due to the frequent intolerance of cow's milk proteins by the child's body, it is advisable to develop similar products based on mare's and sheep's milk. Drying of mare's and sheep's milk was performed on a spray dryer "Niro-Atomizer". Drying of mare's milk was performed at a temperature of 140–150°C, sheep — 170–180°C. Milk was collected from farms in different regions of the country. Extruded domestic flour was used to develop milk-flour porridges. Milk and flour porridges were stored in cardboard packs with an inner package of combined polymeric material. The air from the package was removed and replaced with nitrogen, the package was sealed by soldering the upper valve. The studies were performed according to standard methods. It has been found that milk powder meets the requirements in terms of safety and microbiological indicators. In the developed milk-flour porridges on the basis of dry mare's and sheep's milk harmful substances and microorganisms also do not exceed maximum permissible limits. Milk-flour porridge was found to show no signs of microbiological spoilage during 12 months of storage. Thus, mare's and sheep's milk powder is a promising raw material for the production of baby food.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-10

БЕЗПЕКА І МІКРОБІОЛОГІЧНА ЧИСТОТА СУХОГО КОБИЛЯЧОГО ТА ОВЕЧОГО МОЛОКА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ

К. О. Белінська, канд. техн. наук

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Н. О. Фалендиш, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Зважаючи на непереносимість дитячим організмом білків коров'ячого молока, доцільно розробляти аналогічні продукти на основі кобилячого та овечого молока. Сушіння кобилячого та овечого молока проводили на розпилювальній сушарці «Ниро-Атомайзер». Сушіння кобилячого молока проводили за температури 140—150°C, овечого — 170—180°C. Молоко було зібрано з фермерських господарств різних регіонів країни. Для розробки молочно-борошняних каш використовували екструдоване борошно вітчизняного виробництва. Молочно-борошняні каші зберігалися в картонних пачках з внутрішнім пакетом із комбінованого полімерного матеріалу. Повітря із пакета видаляли і замінювали азотом, пакет герметично закривали шляхом спайки верхнього клапана. Дослідження проводили за стандартними методиками. З'ясовано, що сухе молоко за показниками безпеки та мікробіологічними показниками відповідає вимогам. У розроблених молочно-борошняних кашах на основі сухого кобилячого та овечого молока шкідливі речовини та мікроорганізми також не перевищують гранично допустимі межі. З'ясовано, що молочно-борошняні каші не мають ознак мікробіологічного псування впродовж 12 місяців зберігання. Отже, сухе кобиляче та овече молоко є перспективною сировиною для виробництва продуктів для дитячого харчування.

Ключові слова: показники безпеки, мікробіологічні показники, сухе молоко, дитяче харчування, молоко сухе кобиляче, молоко сухе овече.

Постановка проблеми. Широке застосування хімічних засобів захисту рослин і ґрунтів, синтетичних мінеральних добрив, наслідки аварії на Чорнобильській АЕС тощо призводять до перевищення гранично допустимих концентрацій хімічних речовин в атмосфері, ґрунті, воді і, відповідно, в сировині та продуктах харчування [1—2]. Вживання таких продуктів знижує резистентність організму людини, особливо дітей, призводять до тяжких захворювань, які посилюються з накопиченням в організмі токсичних речовин різної хімічної природи: нітратів, мікотоксинів, пестицидів, важких металів, радіонуклідів [3].

Екологічна безпека сировинних зон з виробництва молока для дитячого харчування перш за все визначається рівнем вмісту лімітуючих елементів. Пестициди потрапляють у молоко в результаті обробки ґрунту від бур'янів. Антибіотики в молоці є наслідком лікування тварин від маститу [4—5]. Джерелом накопичення важких металів у ґрунті та воді може бути як їх природне утворення, так і промислове забруднення цими елементами [6—7]. Однак біологічна система ссавців сприяє виведенню отриманих з кормом токсичних речовин, тому в молоко потрапляє лише незначна їх частина [8].

Для виробництва молочно-борошняних каш для дитячого харчування використовують молоко сухе. Але переважно використовується молоко коров'яче, рідше козяче. У зв'язку з останніми дослідженнями з'ясовано, що молоко коров'яче здатне викликати харчову алергію у дітей раннього віку [9—11]. Тому доцільно дослідити можливість використання молока овечого та кобилячого у виробництві продуктів для дитячого харчування.

У праці [12] автори досліджували процес сушіння молока для дитячого харчування. Проте проводили сушіння молока коров'ячого та козиного і при цьому не досліджували показники безпеки та мікробіологічні показники.

Науковці [13] досліджують сушіння кобилячого молока за різних температур сушильного агента, але показників безпеки, мікробіологічних показників ні сухого молока, ні готової продукції з цього молока не досліджено.

У праці Н. М. Богатко, В. П. Лясота та співавторів [14] досліджувалося молоко нативне українських виробників. Встановлено, що зразки відповідають вимогам щодо безпеки та мікробіологічної чистоти для молока питного. Проте не проводилися дослідження щодо відповідності цього молока вимогам до молока для дитячого харчування.

Автори у праці [15] зосередились на оцінці сезонної динаміки загальної кількості мікроорганізмів в овечому молоці, однак не проводили дослідження щодо показників безпеки в продуктах для дитячого харчування.

Вміст ксенобіотиків в молоці на рівні з іншими факторами залежить від умов навколишнього середовища, тому актуальним є дослідження показників безпеки молока-сировини для каш для дитячого харчування, отриманого в регіонах України з різними агроекономічними умовами.

Мета статті: дослідження показників безпеки та мікробіологічних показників сухого кобилячого та овечого молока з Хмельницької, Дніпропетровської та Донецької областей для розробки на їх основі молочно-борошняних каш для дитячого харчування.

Матеріали і методи. Молоко нативне використовували з фермерських господарств Донеччини, Буковини та Хмельниччини. Молоко сухе отримували на розпилювальній сушарці «Ниро-Атомайзер». Сушіння кобилячого молока проводили за температури 140—150°C, овечого — 170—180°C. Використовували екструдоване борошно рисове, гречане і кукурудзяне українських виробників з показниками якості згідно з ТУ У 15.6-25212217-001-2001.

Підбір і підготовку проб для мікробіологічних аналізів проводили за ДСТУ 7963:2015, ДСТУ 8051:2015, методи культивування мікроорганізмів — за ДСТУ 8535:2015, апаратура, поживні середовища та мікробіологічні випробування — за ДСТУ ISO/TS 10272-2:2015.

Рецептура молочно-борошняних каш представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Рецепттура молочно-борошняних каш

| Найменування сировини | Молочно-борошняна каша з рисовим борошном | Молочно-борошняна каша з гречаним борошном | Молочно-борошняна каша з кукурудзяним борошном |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Молоко овече сухе, % | 7,00 | 7,00 | 7,00 |
| Молоко кобиляче сухе, % | 65,00 | 65,00 | 65,00 |
| Олія соняшникова, % | 2,99 | 2,99 | 2,99 |
| Борошно екструдоване рисове, % | 25,00 | — | — |
| Борошно екструдоване гречане, % | — | 25,00 | — |
| Борошно екструдоване кукурудзяне, % | — | — | 25,00 |
| Ретинілу ацетат, мкг | 34,13 | 34,13 | 34,13 |
| Вітамін D2, мкг | 0,64 | 0,64 | 0,64 |
| Всього: | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми, *B. Cereu*, мікроспічні гриби, дріжджі та патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели, визначали згідно з ДСТУ 8446:2015.

Визначення вмісту свинцю проводили за методикою ДСТУ EN 14082:2019, миш'яку — ДСТУ 7453:2013, кадмію, ртуті, міді, цинку — ДСТУ 31262:2009.

Визначення мікотоксинів проводили згідно з МР № 2273; афлотоксинів — згідно МР № 4082; антибіотиків — згідно з МР № 3049; визначення залишкових кількостей пестицидів — згідно з ДСТУ-Н CODEX STAN 229:2012.

Результати дослідження. Результати проведених досліджень з визначення вмісту важких металів, мікотоксинів, антибіотиків, пестицидів, а також медико-біологічні вимоги та санітарні норми [16] представлено у табл. 2.

У сухому молоці було виявлено такі важкі метали, як свинець, кадмій, мідь і цинк. Проте вміст їх в сухому молоці не перевищує норми. Миш'яку та ртуті у зразках сухого молока не знайдено. Мікотоксинів та антибіотиків у сухому молоці виявлено також не було.

Таблиця 2. Показники безпеки сухого молока

| Показники | Кобиляче сухе молоко | Овече сухе молоко | Норма |
|---|----------------------|-------------------|-----------------|
| Токсичні елементи, мг/кг: | | | |
| свинець | 0,012±0,001 | 0,012±0,001 | 0,05 |
| кадмій | <0,001 | <0,01 | 0,02 |
| миш'як | не виявлено | не виявлено | 0,05 |
| ртуть | не виявлено | не виявлено | 0,005 |
| мідь | 0,21±0,02 | 0,37±0,04 | 1,0 |
| цинк | 2,88±0,288 | 2,1±0,21 | 5,0 |
| Мікотоксини, мг/кг: | | | |
| афлотоксин В1 | не виявлено | не виявлено | <0,001 |
| афлотоксин М1 | не виявлено | не виявлено | <0,0005 |
| Антибіотики, од/г: | | | |
| тетрациклінова група | не виявлено | не виявлено | <0,01 |
| стрептоміцин | не виявлено | не виявлено | <0,5 |
| пеніцилін | не виявлено | не виявлено | <0,01 |
| Пестициди, мг/кг, (в сухому продукті): | | | |
| ДДТ | <0,001 | <0,001 | 0,05 |
| ГХЦГ і гама-ізомер ГХЦГ | <0,001 | <0,001 | 0,05 |
| Ртугевмісні пестициди (гранозан, меркур-бензол) | не виявлено | не виявлено | не допускається |

Такі пестициди, як ДДТ, ГХЦГ і гама-ізомер ГХЦГ виявлено в кількостях, що не перевищують норму. Мікробіологічні показники в сухому молоці наведено в табл. 3.

Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів у сухому молоці задовольняє вимоги нормативних документів.

Жоден з показників не перевищує гранично допустимий рівень, а отже, сухе молоко відповідає медико-біологічним вимогам та санітарним нормам якості на продукти для дитячого харчування на молочній основі № 5061-89 від 01.08.1989 [16]. Результати дослідження показників безпеки сухого молока вказують на те, що отримане сухе молоко є безпечним для використання його у виробництві продуктів для дитячого харчування.

Таблиця 3. Мікробіологічні показники в сухому молоці

| Показники | Кобиляче сухе молоко | Овече сухе молоко | Норма |
|---|----------------------|---------------------|-----------------|
| Патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели | не виявлено | не виявлено | 25 |
| Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КОЕ в 1 г, не більше | $0,02 \times 10^4$ | $0,045 \times 10^4$ | 5×10^4 |
| БГКП (коліформи) | не виявлено | не виявлено | 0,1 |

З цією метою було розроблено сухі молочно-борошняні каші для дитячого харчування на основі сухого кобилячого та овечого молока. Також до рецептури каш включено екструдоване рисове, гречане та кукурудзяне борошно.

Складовою частиною національних та міжнародних програм охорони здоров'я являється забезпечення безпеки продуктів харчування, які схильні до антропогенної дії. Саме тому для продуктів дитячого харчування розроблено медико-біологічні вимоги та санітарні норми вмісту шкідливих речовин.

Молочно-борошняні каші досліджували на вміст важких металів, антибіотиків, мікотоксинів і пестицидів. Результати отриманих досліджень наведено в табл. 4 та 5.

Таблиця 4. Вміст важких металів у продуктах для дитячого харчування

| Показник | Молочно-борошняні каші | Норма, мкг, не більше |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Мідь, мкг | $0,51-0,56 \pm 0,005$ | 1,0 |
| Миш'як, мкг, менше ніж | $0,001 \pm 0,0001$ | 0,05 |
| Ртуть, мкг, менше ніж | $0,001 \pm 0,001$ | 0,005 |
| Свинець, мкг | $0,036-0,042 \pm 0,005$ | 0,05 |
| Кадмій, мкг, менше ніж | $0,01 \pm 0,001$ | 0,02 |
| Цинк, мкг | $2,05-2,10 \pm 0,01$ | 5,0 |

У розроблених продуктах для дитячого харчування було виявлено важкі метали, проте їх кількість не перевищує гранично допустимі норми.

Проведені дослідження вказують на те, що отримані продукти є безпечними для використання їх для дитячого харчування.

Отримані дані вказують на те, що антибіотиків і ртутевмісних пестицидів у продуктах для дитячого харчування не виявлено. Вміст інших токсичних речовин не перевищує норми.

Таблиця 5. Вміст антибіотиків, пестицидів і мікотоксинів у молочно-борошняних кашах

| Показник | Молочно-борошняні каші | Норма, мкг, не більше |
|---|------------------------|---------------------------|
| Антибіотики (в сухому продукті), од/г: | | |
| тетрациклінова група | не виявлено | Не допускається (<0,01) |
| стрептоміцин | не виявлено | Не допускається (<0,5) |
| пеніцилін | не виявлено | Не допускається (<0,01) |
| Мікотоксини (в сухому продукті), мг/кг: | | |
| Афлотоксин В1 | <0,001 | Не допускається (<0,001) |
| Афлотоксин М1 | <0,0001 | Не допускається (<0,0005) |
| Пестициди (у відновленому продукті), мг/кг: | | |
| ДДТ | <0,001 | 0,005 |
| ліндан, гексахлоран (сума ізомерів ГКЦГ) | <0,001 | 0,005 |
| Ртутевмісні пестициди (гранозан, меркур-бензол) | не виявлено | Не допускається (<0,005) |

Результати досліджень вказують на те, що молочно-борошняні каші відповідають медико-біологічним вимогам і санітарним нормам якості на продукти для дітей раннього віку на молочної основі № 5061-89 від 01.08.1989.

Діти в ранньому віці особливо вразливі до потенційно патогенних і патогенних мікроорганізмів, що надходять в організм разом з їжею. Відомо, якщо у дорослих умовно патогенні мікроорганізми викликають спалахи харчових інтоксикацій і токсикоінфекцій при масивному обсіменінні продукту, то в дітей ці збудники викликають захворювання по типу гострої або хронічної кишкової інфекції при незначній їх присутності в їжі [17].

Рівень мікробіологічних показників харчових концентратів для дитячого харчування залежить від цілого ряду факторів: якості сировини та напівфабрикатів, ефективності режимів пастеризації, якості миття та дезінфекції обладнання, якості пакувальних матеріалів, методів, що використовуються для контролю тощо.

Також проведені дослідження з визначення мікробіологічних показників у розроблених молочно-борошняних кашах. Результати досліджень представлені в табл. 6.

Таблиця 6. Мікробіологічні показники розроблених каш

| Показник | Молочно-борошняні каші | | | Норма |
|--|------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| | з рисовим борошном | з гречаним борошном | з кукурудзяним борошном | |
| Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми КУО в 1 г сухого продукту, не більше | 450 | 470 | 470 | 2000 |
| Бактерії групи кишечник паличок, в 1 г | не виявлено | не виявлено | не виявлено | не допускається |
| <i>Echerichea coli</i> , в 10 г | не виявлено | не виявлено | не виявлено | не допускається |
| <i>Staphilococcus aureus</i> , в 10 г | не виявлено | не виявлено | не виявлено | не допускається |
| <i>V.cereus</i> КУО в 1 г, не більше | 15 | 15 | 15 | 100 |
| Патогенні мікроорганізми в т.ч. <i>Salmonella</i> в 100 г | не виявлено | не виявлено | не виявлено | не допускається |
| Плісняві гриби КУО в 1 г, не більше | 12 | 10 | 18 | 50 |
| Дріжджі КУО в 1 г, не більше | 3 | 3 | 3 | 10 |

Згідно з медико-біологічними вимогами та санітарними нормами якості на продукти для дітей раннього віку на молочної основі № 5061-89 від 01.08.1989 в отриманих продуктах відхилень не спостерігається. Отже, отримані дані вказують на те, що розроблені продукти придатні для використання в дитячому харчуванні.

Молочно-борошняні каші є продуктами тривалого зберігання. Провідні виробники продуктів для дитячого харчування встановлюють термін їх зберігання протягом 12—18 міс. Проте для такого тривалого терміну зберігання необхідно є відповідна упаковка. Молочно-борошняні каші зберігалися протягом 12 місяців в картонних пачках з внутрішнім пакетом із комбінованого полімерного матеріалу. Повітря з пакета видаляли і замінювали азотом, пакет герметично закривали шляхом спайки верхнього клапана.

При зберіганні продуктів у герметичній упаковці можливий розвиток небажаної чи навіть шкідливої мікрофлори. При досягненні значень мікробіологічних показників, вищих за допустимий рівень, продукт стає непридатним до споживання, тому

для встановлення терміну зберігання продукту необхідно дослідити зміни мікробіологічних показників.

Запаковані продукти зберігалися у герметичній тарі протягом року. У табл. 7 представлено зміни мікробіологічних показників у молочно-борошняних кашах в процесі зберігання.

Таблиця 7. Зміна мікробіологічних показників продуктів для дитячого харчування протягом зберігання

| Показник | Термін зберігання | | | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 доба | 1 міс | 3 міс | 6 міс | 12 міс |
| Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми, мг/кг×1000 | 0,8 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,0 |
| <i>B. Cereu</i> , мг/кг | 16 | 22 | 27 | 36 | 41 |
| Мікроскопічні гриби, мг/кг | 11 | 14 | 20 | 22 | 26 |
| Дріжджі, мг/кг | 2 | 5 | 4 | 0,05 | 0,05 |

При зберіганні молочно-борошняних каш спостерігається приріст кількості мікроорганізмів. Впродовж 12 місяців зберігання кількість МАФАМ, *B. Cereu* та мікроскопічних грибів збільшилася у 2,4—2,6 раза. Кількість дріжджів за перших 30 днів зберігання збільшилася у 2,5 раза. Через пів року зберігання молочно-борошняних каш дріжджів виявлено дуже мізерну кількість. Це пояснюється поступовим відмиранням дріжджових клітин практично до повного їх зникнення [17].

Дослідження мікробіологічних показників показало, що бактерії групи кишкової палички, *E. coli*, патогенні мікроорганізми та стафілокок не були виявлені в жодному продукті. Вміст МАФАМ, мікроскопічних грибів, дріжджів та *B. Cereu* знаходиться в допустимих межах. Отже, отримані результати свідчать про мікробіологічну безпечність і придатність цих продуктів для вигодовування дітей раннього віку протягом 12 місяців зберігання.

Висновки. Встановлено, що показники безпеки та мікробіологічні показники сухого овечого та кобилячого молока відповідають вимогам, які висуваються до продуктів для дитячого харчування. Розроблені сухі молочно-борошняні каші на основі кобилячого та овечого молока також є безпечними і можуть використовуватися для харчування дітей раннього віку. Доведено, що молочно-борошняні каші можуть зберігатися в герметичній тарі з видаленням кисню і заміною його азотом протягом 12 місяців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тогагинська О. В. Екологічна експертиза технологій вирощування овочевих культур за показниками родючості та фітосанітарним станом / О. В. Тогагинська, О. В. Ничик, А. В. Вдовиченко, Ю. В. Терновий // Вісник ЖНАЕУ. — 2016. — № 2(56). — С. 62—71.
2. Silva V. Pesticide residues in European agricultural soils — A hidden reality unfolded / V. Silva, H. Mol, P. Zomer, M. Tienstra, C. Ritsema, V. Geissen // Science of The Total Environment. 2019. — Vol. 653. — P. 1532—1545. — <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>.
3. Ahern G. Advances in Infant Formula Science / G. Ahern, A. Hennessy, C. Ryan, R. Ross, C. Stanton // Annual Review of Food Science and Technology. — 2019. — Vol. 10. — P. 75—102. — DOI: 10.1146/annurev-food-081318-104308.
4. Байер О. В. Визначення вмісту антибіотиків та сульфаніламідних препаратів у молоці скринінговим методом / О. В. Байер, Ю. М. Новожицька, Л. В. Шевченко, В. М. Михальська // Ukrainian Journal of Ecology. — 2017. — Vol. 7. — P. 576—582. — DOI: 10.15421/2017_163.
5. Ostroukhova V. Quality and safety of cow milk under conditions of ecological risk / V. Ostroukhova, T. Ananeva, J. Smolina // Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. — 2019. — P. 1—6. — doi:10.1088/1755-1315/341/1/012206.

6. Wang M. Accumulation of Heavy Metals in Roadside Soil in Urban Area and the Related Impacting Factors / M. Wang, H. Zhang // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. — 2018. — Vol. 15. — P. 1064. — <https://doi.org/10.3390/ijerph15061064>.

7. Petukhov A. Translocation of Heavy Metals in Herbs under Urban Anthropogenic Pollution Conditions / A. Petukhov, T. Kremleva, G. Petukhova, N. Khritokhin // *Environmental Processes*. — 2020. — Vol. 7, No 4. — P. 1173—1196. — <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00470-3>.

8. Modenese A. Solar Radiation Exposure and Outdoor Work / A. Modenese, L. Korpinen, F. Gobba // *An Underestimated Occupational Risk. Int. J. Environ. Res. Public Health*. — 2018. — Vol. 15. — P. 2063. — <https://doi.org/10.3390/ijerph15102063>.

9. Silva P. Cow's Milk Protein Allergy and Lactose Intolerance / P. Silva, V. Oliveira, L. Perin // *Raw Milk*. — 2019. — P. 295—309. — DOI: 10.1016/B978-0-12-810530-6.00014-6.

10. Zeng Y. Assessment of Cow's milk-related symptom scores in early identification of cow's milk protein allergy in Chinese infants / Y. Zeng, J. Zhang // *BMC Pediatrics*. — 2016. — Vol. 19. — P. 1—8. — <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1563-y>.

11. Dhesi A. Cow's milk protein allergy / A. Dhesi, G. Ashton, M. Raptaki, N. Makwana // *Paediatrics and Child Health*. 2020. — Vol. 30, No 7. — P. 255—260. — <https://doi.org/10.1016/j.paed.2020.04.003>.

12. Симоненко С. В. Оптимальный метод сушки комбинированного молока / С. В. Симоненко, Б. М. Мануйлов, Е. В. Сидорова // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2019. — № 9—1(87). — С. 116—121. — DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.87.9.020>.

13. Усупкожоева А. А. Влияние температурного режима сушки на качественные показатели сухого кобыльего молока / А. А. Усупкожоева, Р. Ш. Элеманова // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*. — 2017. — № 6(20). — С. 39—45.

14. Богатко Н. М. Санітарно-гігієнічна оцінка молока коров'ячого різних виробників відповідно до міжнародних вимог / Н. М. Богатко, В. П. Лясота, Н. В. Букалова, Л. П. Артеменко, Л. М. Богатко, В. З. Салата, О. О. Дашковський // *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. — 2018. — № 83. — С. 88—92. — doi: 10.15421/nvlvet8317.

15. Klimesova M. Seasonal dynamics and possible development of total count of microorganisms in sheep's milk / M. Klimesova, M. Tomaska, M. Hofericova, O. Hanus, L. Vorlova and other // *Acta Veterinaria Brno*. — 2016. — Vol. 85. — P. 157—164. — DOI: 10.2754/avb201685020157.

16. «Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування» вимоги № 5061-89 від 01.08.1989р. [Електронний ресурс]. Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/v5061400-89>.

17. Банникова Л. А., Королева Н. С., Семенихина В. Ф. Микробиологические основы молочного производства: справочник. — М.: Агропромиздат, 1987. — 399 с.

БЕЗОПАСНОСТЬ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЧИСТОТА СУХОГО КОБЫЛЬЕГО И ОВЕЧЬЕГО МОЛОКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

К. А. Белинская

Каменец-Подольский национальный университет имени Ивана Огиенко

Н. А. Фалендыш

Национальный университет пищевых технологий

В связи с частой непереносимостью детским организмом белков коровьего молока целесообразно разрабатывать аналогичные продукты на основе кобыльего и овечьего молока. Сушка кобыльего и овечьего молока проводили на распылительной сушилке «Ниро-Атомайзер». Сушка кобыльего молока проводили при температуре 140—150°C, овечьего — 170—180°C. Молоко было собрано из фермерских хозяйств разных регионов страны. Для разработки молочно-мучных каш использовали экструдированную муку отечественного производства. Молочно-

мучные каши хранились в картонных пачках с внутренним пакетом из комбинированного полимерного материала. Воздух из пакета удаляли и заменяли азотом, пакет герметично закрывали путем спайки верхнего клапана. Исследования проводились по стандартным методикам. Выяснено, что сухое молоко по показателям безопасности и микробиологическим показателям отвечает требованиям. В разработанных молочно-мучных кашах на основе сухого кобыльего и овечьего молока вредные вещества и микроорганизмы также не превышают предельно допустимые пределы. Выяснено, что молочно-мучные каши не имеют признаков микробиологической порчи в течение 12 месяцев хранения. Следовательно, сухое кобылье и овечье молоко является перспективным сырьем для производства продуктов детского питания.

Ключевые слова: показатели безопасности, микробиологические показатели, сухое молоко, детское питание, кобылье молоко, овечье молоко.

УДК 664.72.047, 54:005.591.6

PRODUCTION RESEARCH OF US-MADE CHAMBER GRAIN DRYERS

I. Gaponjuk*National University of Food Technologies*

Key words:

moisture exchange,
heat exchange,
aerodynamic drag,
dryer

Article history:

Received 08.11.2021
Received in revised form
22.11.2021
Accepted 29.11.2021

Corresponding author:

zenidtar@gmail.com

ABSTRACT

The results of research of American grain dryers of chamber type 40FIDPX16G328200 in production conditions are given. Features of a design, technology, heat-aerodynamics and heat recovery of these grain dryers are established. The moisture kinetics of wet grain in the dryer at different parameters of environmental gases and constructive ways to reduce energy losses of working gases has been studied. The differences in the design of modern modular grain dryers in the United States from European counterparts are shown. The use of temperature and moisture equalization zones of grain in the dryer chamber to reduce heat consumption is substantiated. The analysis of features of burners of the American grain dryers and fans, aerodynamic and energy consuming advantages and lacks of their location in the dryer is executed. The advantages of US dryers include lower energy losses of the working gases and aerodynamic differences from European counterparts. The application of a new method of control of intracapillary resistance to moisture diffusion in grain and non-uniformity of moisture and grain temperature is indicated. The influence of the variable pressure gradient of the working gases of the drying and cooling chambers of the dryer on the interphase heat and mass transfer is investigated. In the production conditions, the analysis of the actual productivity of the dryer was performed and deviations from the passport were established. The main reasons for the lower heat capacity of the burners may be the difference in the heatgenerating capacity of Ukrainian natural gas, operational errors and errors in the complete set of the dryer. A similar analysis was performed from the aerodynamic parameters of the dryer fans. Under different drying regimes and different initial moisture content of corn for technical purposes, the deviation of the actual from the passport productivity of the dryer can be from 28 to 43%. The reasons for these differences in performance and ways to eliminate the shortcomings of the technology and heataerodynamics of dryers are theoretically substantiated.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-11

ВИРОБНИЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ КАМЕРНИХ АПАРАТІВ СУШІННЯ ЗЕРНА, ВИГОТОВЛЕНИХ У США

І. І. Гапонюк, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати виробничих досліджень американських апаратів сушіння зерна камерного типу моделі 40FIDPX16G328200 в літньо-осінній період. У виробничих умовах встановлено техніко-технологічні особливості цих апаратів та відмінності їх істинних показників від паспортних. Відмічено інноваційні відмінності конструкції вказаних апаратів від європейських аналогів. Досліджено кінетику вологи вологого зерна в сушарці за різних параметрів газів довілля та конструктивних способів зменшення втрат енергії течії робочих газів. Виконано аналіз особливостей пальників американських апаратів сушіння та вентиляторів, визначено аеродинамічні та енерговитратні переваги й недоліки місць їх розташування.

Ключові слова: вологообмін, теплообмін, аеродинамічний опір, апарат сушіння зерна.

Постановка проблеми. З огляду на стрімке зростання чисельності зерносушильних агрегатів провідних іноземних виробників у використанні вітчизняними зернозаготівельними підприємствами та неоднозначні, а інколи й суперечливі відгуки про них, було виконано дослідження у виробничих умовах чотирьох американських (США) зерносушарок модельного ряду 40FIDPX16G328200 (зерносушарка). За своєю конструкцією апарати сушіння зерна відносяться до камерних, однак у практиці їх часто ще називають модульними, що меншою мірою відповідає суті їх конструкції [7; 9—12].

Приводом для дослідження цих сушарок стали неузгодженості між паспортними та фактичними показниками їх роботи за продуктивністю і питомими тепловитратами, що мали місце у виробничій практиці, а також низка зауважень щодо сушарок інших провідних європейських виробників.

Викладені матеріали ґрунтуються на дослідженнях апаратів сушіння зерна у виробничих умовах [1], застосуванні авторських і загальноприйнятих методів розрахунків та використанні, відповідних темі досліджень, теплофізичних й аеродинамічних закономірностей стану і взаємодії фазових середовищ [2; 4; 8].

Автори висловлюють щире подяку провідним менеджерам агрохолдингу ТОВ «АКРІС АГРО» та адміністрації елеватора цього холдингу за надану можливість й сприяння дослідницьким роботам.

Мета статті: встановити сутність фізико-технологічних особливостей провідних іноземних сушарок камерного типу та визначити можливості їх покращення.

Об'єкт дослідження: технологія, режими, теплоаеродинаміка та конструкція камерних зерносушарок модельного ряду 40FIDPX16G328200.

Предмет досліджень: тепломасообмін, кінетика сушіння, параметри довілля та шару зерна, повітродувні машини та пальники, питомі витрати теплоти й якість зерна, пожежобезпека та екологічна безпека.

Матеріали і методи. Параметри фазових середовищ та умов зневоднення прийнято наближено до виробничих за товщиною шару зерна $h = 0,30$ і $0,31$ м, відносна вологість відпрацьованих робочих газів $\varphi_2 = (75 - 100)\%$, абсолютний вологовміст

$d_1 = (26 - 31)$ г/кг_{с.п.}, їх фіктивна швидкість $v_{\phi} = 0,25$ м/с, живий перетин теплообмінної поверхні 26,6% та 23,5% верхньої і нижньої частини відповідно, зерно кукурудзи вологістю $W_0 = (19,5 - 28,3)\%$, температура газів довкілля t_0 від +9 до -2°C та робочих $t_1 = (100 - 110)$ °C.

Нижче ми пропонуємо ознайомитися із результатами деяких наших досліджень у виробничих умовах

Результати дослідження. Для отримання відповідей на поставлені вище питання розглянемо детальніше конструктивні, технологічні, теплофізичні, аеродинамічні й кінематичні особливості камерних апаратів сушіння зерна модельного ряду 40FI DPX16 G328200 (сушарка).

Вказані апарати є модифікованою версією аналогів моделі DPX12 T288200. Зміст модернізації полягає в збільшенні висоти на 1,2 м лише сушильної камери аналога.

Принципову конструктивно-технологічну схему апарата сушіння зерна подано на рис. 1, а загальний його вигляд на рис. 2.

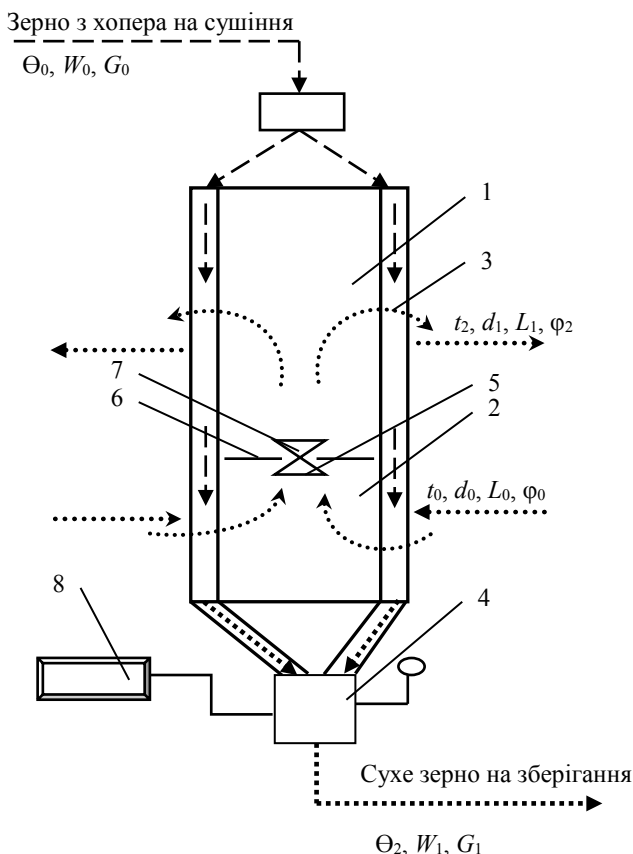


Рис. 1. Технологічна схема апарата: 1 — сушильна та 2 — охолоджуюча камера; 3 — шар рухомого зерна; 4 — вивантажуючий пристрій сухого зерна; 5 — вентилятор; 6 — перегородка між обома камерами; 7 — пальник; 8 — система АУПІ

Конструктивні особливості (рис. 1): апарат сушіння складається із власне самих тепловологообмінних камер 1 і 2, надсушильного та підсушильного транспортерів, відповідно, з подачі вологого зерна в апарат та вивантаження із нього сухого, механічного пристрою об'ємного вивантаження сухого зерна 4, чотирьох вісьових вентиляторів 5, облаштованих між сушильною та охолоджувальною камерами апарата сушіння зерна вздовж камери, чотирьох пальників газоподібного палива 7, розміщених на виході повітряної течії із кожного вентилятора в сушильну камеру, системи автоматичного підтримання заданих режимів сушіння та запобігання нестандартних ситуацій 8, датчиків наявності зерна над сушильною камерою, температури сушильних газів і зерна, повноти спалювання теплоносіїв, конструктивних елементів кріплення апарата сушіння зерна й технологічного його обслуговування, залізобетонного стаціонарного фундаменту й комунікаційної обв'язки, в т.ч. з подачі природного газу середнього тиску пальникам металевими трубопроводами із системами управління продуктивністю подачі палива й пожежозапобіжними системами.



Рис. 2. Загальний вигляд зерносушарки 40FI DPX16

Об'ємний вміст технологічного зерна в міжкамерному просторі апарата сушіння залежить від лінійних розмірів камер, тому підвищення продуктивності апарата сушіння виробник досягає більшими габаритами тепловологообмінних камер, як підтверджує приклад модернізованої версії. Збільшення висоти сушильної камери на 1,2 м ($+\Delta h = 11\%$) мало б забезпечити, за паспортом сушарки, підвищення продуктивності на 10 пл. т/год ($+\Delta G = 14\%$) при сушінні зерна кукурудзи з 20 до 15% вологості. Однак очікуваного підвищення продуктивності у виробничих умовах експлуатації апарата сушіння не отримано. Нижче, за результатами аналізу виробничих показників функціонування апарата сушіння та виконаних розрахунків, спробуємо розібратися в причинах цього та обґрунтувати рішення щодо їх усунення. Для цього виконаємо покроковий аналіз особливостей вказаного апарата сушіння та його технологічних й теплоаеродинамічних показників.

Площа поверхні камер апарата сушіння: сушильної 231 м² та охолоджувальної 72 м². Співвідношення зон дещо критичне для заданого охолодження висушеного зерна, особливо таких культур, як кукурудза та соя. Тому за тепловим балансом

найгірших умов роботи апарата доцільно було б збільшити розміри камери охолодження до 35% від загальної [3; 6].

Для управління часткою рекуперованої теплоти та аеродинамічним опором течії робочих газів в апараті сушіння передбачено притічні вікна, рівномірно розміщені по обидва боки камери охолодження. Площа притічних вікон з управління охолодження зерна становить $2,4 \text{ м}^2$. Притічні вікна є характерною і важливою особливістю конструкції цієї моделі апарата сушіння, яка дає змогу суттєво впливати як на кінетику, так і на теплоенергетику сушіння.

Товщина шару зерна в міжкамерному просторі коливається від $0,310 \text{ м}$ в зоні охолодження до $0,300 \text{ м}$ — у сушильній. Якщо порівняти з європейськими аналогами, різниця в товщині шару зерна різних камер, на нашу думку, пов'язана з різним аеродинамічним опором вологого (більший) і сухого (менший) зерна. Це на половину більше від товщини шару в більшості вітчизняних моделей сушарок [1; 8—12].

Для уникнення пароконденсації на поверхні периферійного шару зерна та ситової поверхні сушарки доцільно було б застосувати диференційовані або ступеневі режими сушіння у вертикальній площині сушильної камери [1; 5; 6; 8] чи застосувати технологічні способи управління різницею парціальних тисків пари фазових середовищ [5] або траєкторією (перемішування) і характером руху шару зерна (неперервний чи дискретний) [8], чи навіть збільшенням вологопоглинальної спроможності робочих газів.

Ще одним позитивним конструктивним рішенням апарата сушіння цієї моделі є наявність перегічних каналів у верхній частині сушильної камери для перемішування зерна різної температури й вологості зовнішньої та внутрішньої поверхонь. Подібні рішення раніше вже були успішно реалізовані в апаратах сушіння модульного типу нових модифікацій [9; 11].

Теплоносій. Для нагрівання сушильних газів апарата сушіння використовують вітчизняний природний газ тиском у мережі $0,8—1,0 \text{ кг/см}^2$ ($78,5—98,1 \text{ кПа}$).

Технологічні особливості апарата сушіння аналізованої моделі. Апарат сушіння зерна конвективний, прямотечійний, двокамерний, із рекуперацією теплоти шару зерна зони охолодження. Спосіб підведення робочих газів – комбінований:

- сушильної зони — під нагнітанням;
- охолоджувальної — під розрідженням.

Такі технологічні особливості є відомими й раніше колись досить широко застосовувалися у вітчизняних шахтних рециркуляційних апаратах сушіння [8]. Спосіб переміщення шару зерна в камерах апарата сушіння зерна — гравітаційний. Стан рухомості шару зерна — неперервний малорухомиий.

Для зменшення внутрішньо-капілярного опору дифузії вологи в тілі зернини перерозподілом вологи і температури в її шарах, частину ситової поверхню сушильної камери висотою $0,8 \text{ м}$ ($8,6\%$ висоти камери) замінено металевим екраном для запобігання підведенню сушильних газів. На продуктивність апарата сушіння таке зменшення активної поверхні не відобразиться, однак на якості сушіння (усунення травмування термолабільних складових периферії тіла зернини) та зменшенні питомих витрат теплоти однозначно [5].

Продуктивність апарата сушіння чи не найголовніший показник, що залежить від ряду чинників [6; 8; 9]. Ці та інші чинники впливу на продуктивність сушіння враховані в особливостях конструкції апарата сушіння і регламентуються (гарантуються) їх виробником у технічному паспорті виробу.

У нашому випадку, продуктивність апарата сушіння по зерну кукурудзи за паспортом становить $G_n = 83,5$ ф. т/г, або $G_n = 129$ пл. т/г. Однак фактична, за виробничими показниками, становила лише $G_{\phi} = 47$ ф. т/г, або в перерахунку фізичних тонн у планові, згідно з Інструкцією [2], $G_{\phi} = 73$ пл. т/г. Це на 56 пл. т/г, або на 43% менше за паспортну. Причини цього ми встановимо в тепло-аеродинамічному розділі. Тут лише зауважимо на відмінності закордонних і вітчизняних розрахунків планової тони. Якщо в закордонних технічних паспортах зазначають паспортну продуктивність апаратів сушіння зі зняття вологи за годину на 5 ($\Delta W = 20 - 15 = 5\%$) чи 10% ($\Delta W = 25 - 15 = 10\%$) по кожній культурі, то у вітчизняних — на 6% ($\Delta W = 20 - 14 = 6\%$), з поправкою на цільове використання та хімічно-геометричні особливості зерна. Тому вітчизняна планова тонна може бути як «важчою» (частіше всього), так і «легшою» (рідше) за зарубіжну.

Для розуміння причин суттєвої відмінності паспортної продуктивності від фактичної в табл. 1 викладено розрахункові значення продуктивності апарата, отримані за складовими параметрами його обладнання.

Як видно із наведених в табл. 1 даних, ні за тепловою потужністю пальників (п. 2.4 табл. 1), ні за аеродинамічними параметрами повітродувних машин (п. 2.5 табл. 1), ні навіть за збільшеної різниці парціальних тисків фазових середовищ ($t_1 = 110^{\circ}\text{C}$) паспортну продуктивність такий апарат сушіння зерна забезпечити не може.

Таблиця 1. Зведені показники продуктивності апаратів сушіння по зерну кукурудзи

| № п/п | Зміст показників | Од. вим | Температура робочих газів | | |
|-------|---|-------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | | | Літо | | Зима |
| | | | $t_1 = 110^{\circ}\text{C}$ | $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$ | $t_1 = 110^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Продуктивність сушарки. DPX14G328200, паспортна | ф. т/г пл. т/г | 43,97 104 | $(\Delta W = 25 - 15\%)$ | |
| 2 | Продуктивність сушарки DPX16G328200, паспортна | ф. т/г пл. т/г | 50,1 119 | $(\Delta W = 25 - 15\%)$ | |
| 2.1 | | | | $(\Delta W = 25 - 15\%)$ | |
| 2.2 | фактична | ф. т/г пл. т/г | 29 69 | $(\Delta W = 25 - 14\%)$ $(\Delta W = 25 - 14\%)$ | |
| 2.3 | розрахункова по пальниках/паспортні дані | пл. т/г | 74 | 80 | 85 |
| 2.4 | розрахункова по пальниках/розрахункові дані | пл. т/г | 90 | 100 | 105 |
| 2.5 | розрахункова по вентилятору/паспортні дані | пл. т/г | 56 | 67 | 85 |
| 2.6 | розрахункова по вентилятору/сторонні заміри | пл. т/г | 104 | 120 | 150 |

Принагідно відмітимо, що подібні неточності технічних показників характерні для багатьох інших моделей апаратів сушіння. Так, для апаратів тієї ж серії DPX12T288200 встановлено, що за паспортної продуктивності 44 ф. т/г ($t_1 = 100^{\circ}\text{C}$) розрахункова потреба в сушильних газах становить 160 тис. $\text{м}^3/\text{г}$, а за паспортними даними — лише 140 тис. $\text{м}^3/\text{г}$.

Наведені в табл. 2 і на рис. 3 дані наглядно підтверджують розбіжність показника продуктивності за різних одиниць виміру. Зі зростанням енергії зв'язку вологи з тілом зернини, відповідно, зменшується й продуктивність апарата в планових тонах (залежність a , рис. 3). Однак у фізичних тонах (залежність b , рис. 3) вона зростає.

Вплив енергії зв'язку вологи зі зневоджуваним тілом на продуктивність дослідженого апарата сушіння підприємства можемо спостерігати з виробничих даних, поданих в табл. 2 та на рис. 3. Продуктивність цього апарата в планових тоннах (колонка 5 табл. 2) перерахована згідно з Інструкцією [2].

Таблиця 2. Фактична продуктивність апарата сушіння за різної вологості зерна кукурудзи (різної енергії зв'язку вологи з тілом зернини)

| Періоди роботи | W_0 | W_1 | G , т/Г | G , пл. т/год |
|----------------|-------|-------|-----------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 27,0 | 14,3 | 41,0 | 110,0 |
| 2 | 28,3 | 14,0 | 31,7 | 85,0 |
| 3 | 26,6 | 14,1 | 26,3 | 70,4 |
| 4 | 26,0 | 14,2 | 30,6 | 82,1 |
| 5 | 26,5 | 14,1 | 27,3 | 73,1 |
| 6 | 25,9 | 13,9 | 28,9 | 72,5 |
| 7 | 28,0 | 14,0 | 27,6 | 79,9 |
| 8 | 26,2 | 14,2 | 28,8 | 72,2 |
| 9 | 25,7 | 15,2 | 35,4 | 81,8 |
| 10 | 26,4 | 14,1 | 28,4 | 76,6 |
| 11 | 26,0 | 14,0 | 31,1 | 78,2 |
| 12 | 25,7 | 14,0 | 29,9 | 74,6 |
| 13 | 19,0 | 14,0 | 45,7 | 64,8 |
| 14 | 20,0 | 14,0 | 47,9 | 73,8 |

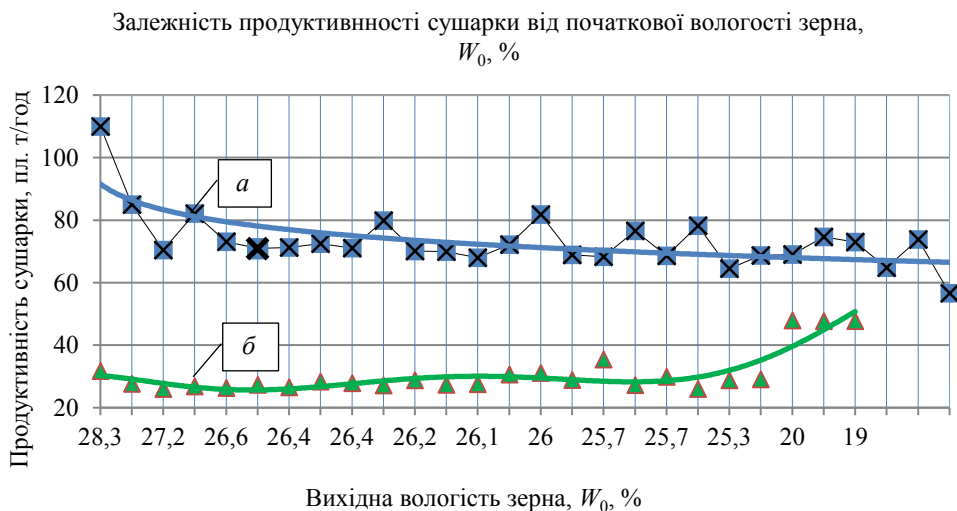


Рис. 3. Залежність продуктивності апарата сушіння від вихідної вологості зерна:
 a — у планових тоннах за годину; b — у фізичних тоннах за годину

Результати виробничих досліджень з впливу параметрів довокілья, режимів сушіння та діапазону зневоднення зерна на продуктивність сушарок (інтенсивність міжфазового тепломасообміну) представлені в табл. 3. Для зручності сприйняття матеріалу вибрано дві з чотирьох сушарок підприємства однієї моделі, що за однакових умов роботи мають більш відмінні показники роботи. Наведені в табл. 3 залежності доводять, що з пониженням температури довокілья продуктивність сушарки може не

лише не зменшуватися, а й зростати за рахунок зменшення вологовмісту газів до-
вкілля й відповідного зростання потенціалу робочих газів. У нашому випадку, зі зни-
женням температури довілля на $\Delta t = 11^\circ\text{C}$ вологовміст газів довілля зменшується
на $\Delta d = 7 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$. Таким чином, для заданого діапазону перемінних вологовмісту і
температури фазових середовищ на рушійний потенціал міжфазового вологообміну
більш значимою є різниця вологи фазових середовищ, а не різниця температури цих
середовищ.

Таблиця 3. Технологічні показники апаратів сушіння за різних параметрів довілля

| Заміри | Апарат сушіння зерна 2 | | | | | | | Апарат сушіння зерна 4 | | | | | | | +/-, % |
|--------|------------------------|--------------|-----------|---------------|--------------------|-----------|------------------|------------------------|--------------|-----------|---------------|--------------------|-----------|------------------|-----------|
| | t_0 , °C | W_0 , % | W_1 , % | t_1 , °C | θ_1 , °C | G , т/Г | G , пл. т/Г | t_0 , °C | W_0 , % | W_1 , % | t_1 , °C | θ_1 , °C | G , т/Г | G , пл. т/Г | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | 9 | 21,6 | 14,2 | 96 | 75 | 31 | 53 | 9 | 21,6 | 14,2 | 103 | 75 | 28 | 47 | 11 |
| 2 | 8 | | 14,4 | 95 | 74 | 30 | 50 | 8 | | 14,4 | 105 | 73 | 29 | 49 | 3 |
| 3 | 7 | | 13,8 | 98 | 72 | 28 | 50 | 7 | | 13,8 | 102 | 72 | 28 | 47 | 5 |
| 4 | 6 | | 14,5 | 92 | 76 | 32 | 51 | 6 | | 14,5 | 103 | 77 | 33 | 56 | -8 |
| 5 | 6 | | 14,3 | 77 | 69 | 29 | 53 | 6 | | 14,3 | 97 | 74 | 32 | 54 | -3 |
| 6 | 4 | | 14,5 | 86 | 68 | 29 | 51 | 4 | | 14,5 | 91 | 73 | 32 | 54 | -5 |
| 7 | 3 | 21,9 | 14,6 | 80 | 68 | 30 | 53 | 3 | 21,9 | 14,6 | 94 | 73 | 32 | 54 | -3 |
| 8 | 4 | | 14,6 | 80 | 67 | 29 | 51 | 4 | | 14,6 | 93 | 73 | 32 | 54 | -6 |
| 9 | 4 | | 14,4 | 78 | 67 | 29 | 52 | 4 | | 14,4 | 94 | 74 | 32 | 54 | -4 |
| 10 | -1,5 | 22,6 | 13,3 | 108 | 77 | 29 | 57 | -1,5 | 22,6 | 13,3 | 113 | 78 | 27 | 46 | 25 |
| 11 | -1,5 | | 13,5 | 109 | 77 | 29 | 57 | -1,5 | | 13,5 | 112 | 78 | 28 | 47 | 21 |
| 12 | -2 | | 14,3 | 107 | 77 | 29 | 54 | -2 | | 14,3 | 113 | 77 | 28 | 47 | 15 |
| 13 | -2 | | 14,4 | 108 | 77 | 30 | 56 | -2 | | 14,4 | 113 | 77 | 29 | 49 | 14 |
| 14 | -2 | | 13,9 | 110 | 76 | 30 | 59 | -2 | | 13,9 | 113 | 77 | 28 | 47 | 24 |

Висновки. 1. Американські (США) камерні сушильні апарати модельного ряду 40FIDPX мають прогресивні конструктивні й технологічні відмінності від вітчизняних та європейських аналогів.

2. Наявність перетічних каналів у верхній частині сушильної камери для перемішування зерна різної температури й вологості зовнішньої та внутрішньої поверхонь дають змогу зменшити пошарову нерівномірність температури й вологи в шарі зерна, знизити ризик травмування термолабільних складових і зменшити непродуктивні втрати теплоти.

3. Облаштування зони перерозподілу теплоти й вологи в шарах тіла зернини в сушильній камері апарата суттєво впливає на зменшення внутрішньокапілярного опору дифузії вологи в тілі зернини.

4. Притічні вікна в камері охолодження зерна дають змогу управляти аеродинамічним опором сушильного апарата та часткою рекуперованої теплоти відпрацьованих газів.

5. Облаштування повітродувних машин і пальників у камері сушіння зерна дає змогу суттєво зменшити втрати енергії та теплоти робочих газів і заощадити на повітродувних машинах з охолодження зерна.

6. З пониженням температури довілля зменшується вологовміст сушильних газів і, відповідно, зростає їх вологопоглинальна спроможність, що компенсує втрати на додаткове нагрівання цих газів.

7. Для зерна пізніх культур крупних розмірів зневоджуваних тіл за показником питомих енерговитрат доцільно повністю перекривати притічні вікна охолоджува-

льної зони та зменшити температуру робочих газів на 10 – 15°C порівняно з режимами сушіння ранніх зернових культур.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гапонюк І. Звіт технологічного та теплоаеродинамічного обстеження зерносушарок модельного ряду 40FIDPX16G328200 [Рукопис] / І. Гапонюк. — 2021. — 18 с.
2. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. — 1997. — 72 с.
3. Каминский В. Д. Переработка та зберігання сільськогосподарської продукції / В. Д. Каминский, М.Б. Бабич. — Одеса: Аспект, 2000. — 460 с.
4. Остапчук М. В. Математичне моделювання на ЕОМ: підручник / М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич. — Одеса: Друк, 2006. — 313 с.
5. Гапонюк І. Технологія сушіння капілярно-пористих колоїдних тіл за спадними режимами / І. Гапонюк // Наукові праці НУХТ. — 2019 — Т. 25. № 6. — С. 56—65.
6. Василенко, С. М. Основи тепломасообмін: підручник / С. М. Василенко, А. І. Українець, В. В. Олішевський. — К.: НУХТ, 2004. — 250 с. — ISBN 966-612-030-5.
7. Гапонюк І. Особливості технології, теплоаеродинаміки та енергоємності вітчизняних і закордонних зерносушарок / І. Гапонюк // Тези доповіді XII Міжнародної онлайн-конференції «Проблеми теплофізики та теплоенергетики». — НАНУ, 2021. — С. 26—27.
8. Станкевич Г. М. Обробка та зберігання дрібнонасіневих олійних культур [Текст]: монографія / Г. М. Станкевич, Л. К. Овсянникова, О. Г. Соколовська. — Одеса: КП ОМД, 2016. — 128 с.: табл., рис. — Бібліогр.: с. 115—126. — ISBN 978-617-637-110-6.
9. Chuanping Liu. Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying. / Liu Chuanping, Wang Li, Wu Ping, Xiang Fei // Powder Technology. — № 221, 2012. — P. 192—198.
10. Інтернет видання. — Режим доступу: <https://flagma.ua/products/q=зерносушилка+mathews+company>.
11. Інтернет видання. — Режим доступу: <http://www.eridon-tech.com.ua/sukup-mixed-flow-dryers>.
12. Інтернет видання. — Режим доступу: <https://www.tornum.com/nyheter/products/grain-dryers>.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАМЕРНЫХ АППАРАТОВ СУШКИ ЗЕРНА, ПРОИЗВЕДЕННЫХ В США

И. И. Гапонюк

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены результаты исследований в производственных условиях особенностей технологии, теплоаэродинамики и рекуперации теплоты американских камерных аппаратов сушки зерна. В производственных условиях построено кинетику влаги сушимых тел при различных параметрах газов окружающей среды и способов уменьшения потерь энергии потока рабочих газов, отмечены преимущества их конструктивных и аэродинамических отличий от европейских аналогов. Экспериментально установлено динамику отклонений паспортной производительности зерносушилки от фактической при разных режимах сушки разной исходной влаги зерна кукурузы, а также выполнен анализ возможных причин этого.

Ключевые слова: *влагообмен, теплообмен, аэродинамическое сопротивление, сушилка.*

УДК 66.047.596

INVESTIGATION OF THE UPPER LOUVER DISTRIBUTION OF THE HEAT CARRIER AND DETERMINATION OF EFFECTIVE PARAMETERS OF DRYING IN COMPLEXES OF SPRAY TYPE

V. Tufekchi, Y. Veresotskyi

National University of Food Technologies

Key words:

spray dryers,
CFD modeling,
evaporation,
droplet trajectories,
temperature distribution

Article history:

Received 11.11.2021
Received in revised form
15.11.2021
Accepted 22.11.2021

Corresponding author:

tufekchi@outlook.com

ABSTRACT

An overview of the evaporation of moisture from particles of dairy products, in particular whey, and the movement of droplets is important for optimizing the spray drying process. Studies based on the Euler-Lagrange method are experimentally confirmed in the model with the upper distribution of the coolant in the disk spray complex. The predicted temperature agrees well with the measured value, and the maximum relative error is 2.76%. The demonstrated multiphysical gas distribution and droplet trajectories are visualized. During drying, the phenomenon of reverse air flow and swirling motion of the drops was observed. Increasing the inlet air temperature can increase the drying speed, and increasing the speed of rotation of the disk can cause contamination of the walls of the spray complex. The results helped in further design and understanding of the optimal parameters.

The simulation was performed according to the actual geometry of the pilot centrifugal spray dryer, avoiding the uncertainty of scaling. Meanwhile, spray drying experiments were performed in this spray dryer. Compared to most previous models, which use only the initial data for verification, this work identified 15 temperatures in the volume of the drying complex when changing the feed parameters representing the temperature distribution inside the tower to verify the accuracy of the simulation results. On this basis, the distribution of temperature, humidity and velocity of hot air, as well as the trajectory of droplets was studied and analyzed. In addition, the influence of the inlet air temperature and the speed of rotation of the spray disk on the behavior of the drops during drying was studied.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-12

© В. І. Туфєкчі, Ю. І. Вересоцький, 2021

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРХНЬОГО ЖАЛЮЗІЙНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ТЕПЛОНОСІЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СУШІННЯ В КОМПЛЕКСАХ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ТИПУ

В. І. Туфекчі, аспірант

Ю. І. Вересоцький

Національний університет харчових технологій

Проведено огляд випаровування вологи з частинок молочних продуктів, зокрема молочної сироватки, та руху крапель, що важливо для оптимізації процесу сушіння розпиленням. Дослідження на основі методу Ейлера-Лагранжа експериментально підтверджені в моделі з верхнім розподіленням теплоносія в дисковому розпилювальному комплексі. Прогнозована температура добре узгоджується з вимірним значенням, а максимальна відносна похибка становить 2,76%. Візуалізовано продемонстрований мультифізичний газорозподіл і траєкторії крапель. У процесі сушіння спостерігалось явище зворотного потоку повітря та закрученого руху крапель. Підвищення температури повітря на вході може збільшити швидкість висихання, а збільшення швидкості обертання диска може викликати налипання продукту на стінки розпилювального комплексу. Результати допомогли в подальшому проектуванні та розумінні оптимальних параметрів.

Ключові слова: розпилювальний комплекс, CFD моделювання, випаровування, траєкторії крапель, розподіл температур.

Постановка проблеми. Сушіння розпиленням — це різновид технології сушіння, при якій рідкий матеріал спочатку розсіюється на дрібні краплі через розпилювач, а потім сушиться, контактуючи із сушильним середовищем, зазвичай гарячим повітрям, для безпосереднього приготування сухого продукту. Розсіяні краплі можуть значно знизити опір завдяки збільшеній площі контакту з гарячим повітрям і, таким чином, значно прискорити процес сушіння [1; 2]. Порівняно з іншими методами сушіння розпилювальна сушка має переваги: велика швидкість висихання та висока однорідність продукту, уникаючи перегріву продукту, тому й широко використовується в хімічній, фармацевтичній, харчовій і керамічній промисловості [2—4]. Однак через нерівномірність розподілу розпилювального поля сушіння часто страждає від проблеми агломерації матеріалу та прилипання до стінки башти. Для великогабаритних розпилювальних сушарок дуже важко виміряти температуру, вологість і розподіли швидкостей газової фази, а також траєкторії крапель під час процесу сушіння. Як відомо, процес сушіння в башті розпилювальної сушіння є досить складним, що включає розпилення, випаровування та транспортування, а також взаємодію між краплями та внутрішньою стінкою. Обчислювальна динаміка рідини (CFD) як імітаційний інструмент використовує математичне моделювання для аналізу складних явищ потоку рідини, маси та теплообміну, а також для відтворення важковимірних змін фізичного поля за допомогою тривимірних (3D) зображень [5]. Хоча ця технологія успішно використовується в галузі механіки рідини, вона все ще знаходиться на стадії розробки для чисельного моделювання процесу сушіння [9]. Очікується, що моделювання CFD візуалізує складний процес сушіння в розпилювальному комплексі та забезпечить теоретичну базу для конструктивного проектування опор та оптимізації параметрів процесу [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками дослідники застосували технологію CFD для вивчення структури потоків повітря, поведінки розпилювального висихання та дизайну геометрії комплексу, процесу розпилювального сушіння. Через обмеженість комп'ютерних технологій ранні математичні моделі були переважно двовимірними (2D) осесиметричними моделями без урахування випадковості рухів крапель рідини в реальному тривимірному просторі [10, 11]. М. Mezhericher та ін. виконали 2D та 3D чисельне моделювання масо- та теплообміну в розпилювальній сушарці, зробивши висновок, що 2D осесиметрична модель не може точно відображати поперечний потік повітря та асиметрію фізичних полів [12]. У доступних моделях CFD результати моделювання, зазвичай, перевірялися з використанням лише вихідних експериментальних даних в усередненому порядку [13]. Муджумдар та ін. чітко вказали, що хоча результати моделювання на виході з башти збігаються з експериментальними даними, це ніколи не представляло собою реалістичну перевірку, оскільки компенсаційні помилки, що існують у розрахунках фізичних полів, не могли по-справжньому відображати транспортну поведінку [14]. Слід також зазначити, що більшість моделювання розпилювального сушіння було проведено для розпилювальних сушарок лабораторного масштабу, і в результатах нарощування існувало багато невизначеностей розрахунків, що обмежує проектування та оптимізацію розпилювальних сушарок промислового масштабу [8, 15].

Незважаючи на те, що математичні моделі опису гарячого повітря, крапель та їх взаємодій постійно вдосконалюються, існуючі CFD-моделі ще недостатні для відтворення та прогнозування процесу сушіння розпиленням через відсутність ефективних вимірювань розподілу температури або вологості в розпилювальному комплексі. У цій статті підхід Ейлера-Лагранжа був використаний для чисельного моделювання 3D фізичних полів для того, щоб відтворити процес сушіння розпиленням. Моделювання було виконано відповідно до реальної геометрії пілоотної відцентрової розпилювальної сушарки, уникаючи невизначеності масштабування. Тим часом у цій розпилювальній сушарці були проведені експерименти з розпилювальним сушінням. У порівнянні з більшістю попередніх моделей, які використовують лише вихідні дані для перевірки [1, 14], у цій праці було визначено 15 температур в об'ємі сушильного розпилювального комплексу при зміні параметрів подачі, що представляють розподіл температури всередині башти, щоб перевірити точність результатів моделювання. На цій основі було досліджено та проаналізовано розподіл температури, вологості та швидкості гарячого повітря, а також траєкторії руху крапель. Крім того, було досліджено вплив температури повітря на вході та швидкості обертання диска розпилювача на поведінку крапель при висиханні. Очікується, що за допомогою моделювання та експериментальної перевірки результати дослідження відтворять реалістичний процес сушіння розпиленням і нададуть теоретичні вказівки щодо вдосконалення конструкції розпилювальних сушарок та оптимізованих робочих параметрів процесів сушіння.

Метою дослідження є оцінка можливостей і перспектив застосування методів моделювання моделі Ейлера-Лагранжа розпилювального сушіння молочних продуктів за рахунок програмного забезпечення Ansys з використанням сектору 3D моделі.

Матеріали і методи. Об'єктом досліджень є перехідні процеси в сушильному розпилювальному комплексі, порівнюючи такі параметри, як температура теплоно-

сія, швидкість висихання частинки, траєкторії сушіння продукту в розпилюваль-ному комплексі та визначення енергетичних витрат, на основі узагальненого CFD моделювання та аналізу.

Результати дослідження. На рис. 1 показана фізична модель пілотної відцентрової розпилювальної сушарки, використаної в експерименті. Внутрішній діаметр = 5360 мм, висота циліндричного сегмента комплексу розпилювального типу = 4100 мм, а кут конічного сегмента 150° , як показано на рис. 1, а. Зверху повітро-розподілюючого пристрою встановлено жалюзійні направляючі для можливості регулювання потоку повітря (рис. 2). Процес розпилювального сушіння включає складні трифазні потоки тверда рідина-рідина-газ, а також масо- і теплообмін. Краплі як дискретна фаза розсіюються в гарячому повітрі як безперервна фаза, між якими відбуваються процеси транспортування. Чисельний розрахунок проводили за допомогою підходу Ейлера для безперервної фази [17] та підходу Лагранжа для дискретної фази з краплями як сферичними частинками. Оскільки об'ємне відношення дискретної фази до безперервної фази, зазвичай, становить менше 10% у процесі розпилювального сушіння, модель дискретної фази (DPM) була використана для опису процесу крапельного сушіння.

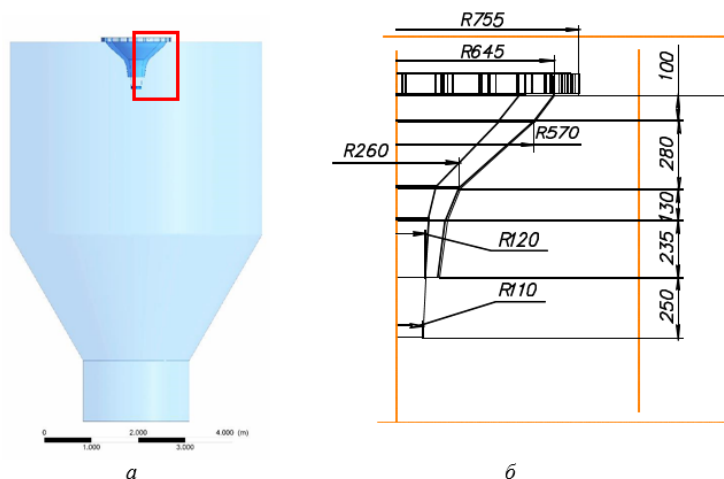


Рис. 1. Фізична модель сушильного комплексу: а — принципова схема комплексу розпилювального типу; б — деталі входу



Рис. 2. Фізична модель жалюзійного розподілення в комплексі розпилювального типу

Оскільки башта розпилювального комплексу, як правило, працює при негативному тиску, а щільність газу не сильно змінюється зі швидкістю потоку, то гаряче повітря розглядається як ідеальна і нестислива рідина. Універсальна форма рівнянь збереження безперервності, імпульсу, енергії та виду для безперервної фази виглядає так [17]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varphi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varphi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} \right) + S_\varphi + S_{\rho\varphi}, \quad (1)$$

де φ — загальна змінна, Γ_φ — коефіцієнт переносу, S_φ — джерело самої газової фази, $S_{\rho\varphi}$ — джерело, що виникає внаслідок взаємодії гарячого повітря з краплями.

Дискретна фаза та рівняння траєкторії.

Нехтуючи зіткненням крапель у русі, баланс сил відношення крапель описується другим законом Ньютона:

$$m_p \frac{\partial u_p}{\partial t} = m_p + \frac{u - u_p}{t_r} + m_p + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F, \quad (2)$$

де F — зовнішня сила (N), а $\frac{u - u_p}{t_r}$ сила опору (N) в якій t_r — час перебування краплі, c і визначається за формулою [19]:

$$t_r = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu_g C_d Re_d}, \quad (3)$$

де d_p — діаметр краплі (м), а коефіцієнт опору, C_d , відповідає закону сферичного опору, заданому Морсі та Александером [17].

Рівняння масообміну

Швидкість випаровування крапель визначається концентрацією пари відмінність від поверхні краплі до основного потоку газу фаза:

$$N_i = k_c (C_{i,s} - C_{i,g}), \quad (4)$$

де коефіцієнт масопередачі k_c розраховується за числом Шервуда [20]:

$$Sh = 2.0 + 0.6 Re_d^{(1/2)} Sc^{(1/3)}, \quad (5)$$

Концентрації пари на поверхні крапель і в основному потік газової фази задаються рівняннями (6) і (7) відповідно:

$$C_{i,s} = \frac{p_{sat}(T_p)}{RT_p}; \quad (6)$$

$$C_{i,g} = \frac{X_{ip}}{RTg}, \quad (7)$$

де $p_{sat}(T_p)$ — тиск насиченої пари (Па) на поверхні краплі при температурі T_p , X_{ip} — об'ємна молярна частка рідкого компонента.

Рівняння теплообміну. Тепловий потік на поверхні крапель під час сушіння складається з конвективного теплообміну між краплями та газовою фазою, а також фазового переходу теплопередачі крапель, який визначається рівнянням:

$$m_p c_p \frac{dcT_p}{dt} = hA(T_g - T_p) + \frac{dm_p}{dt} h_{fg}, \quad (8)$$

де h_{fg} — прихована теплота продукту (Дж/(моль·К), а h — коефіцієнт конвективної теплопередачі (Вт/м²·К), який впливає з числа Нуссельта [21]:

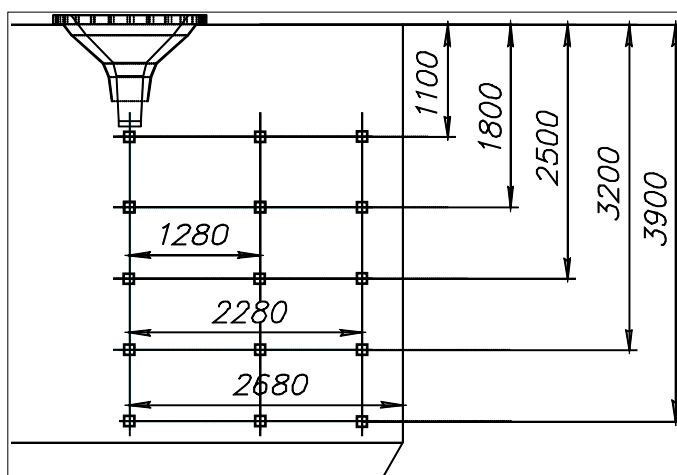
$$Nu = 2.0 + 0.6Re_d^{(1/2)} Pr^{(1/3)}. \quad (9)$$

У випадку, якщо температура краплі досягає точки кипіння, а краплі ще містять певну кількість випаровуваної маси, застосовується модель швидкості випаровування:

$$\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{(4k_g)}{\rho_p c_g d_p} (1 + 0.23\sqrt{Re_d}) \ln \left[1 + \frac{c_g (T_g - T_p)}{h_{fg}} \right]. \quad (10)$$

Експерименти з розпилювальним сушінням були проведені в змодельованому секторі комплексу розпилювального типу з верхнім розташуванням жалюзійних ґрат з можливістю регулювання, як показано на рис. 2.

У програмному комплексі Ansys було задано гаряче повітря, яке надходить у сушильну камеру через розподільник у верхній частині башти, вихід відпрацьованого теплоносія та продукту — у нижній частині комплексу, а подача продукту з моделі розпилюючого диска у верхній частині опущеного в об'єм комплексу. Для вимірювання розподілу температури в розпилювальному комплексі було вибрано п'ятнадцять ліній по всьому периметру башти у трьох групах (п'ять для груп А, В та С) у межах циліндричного сегмента, як показано на рис. 3. Відстані трьох згрупованих точок вимірювання становили 1280, 2280 і 2680 мм відповідно від осі комплексу розпилювального типу, а відстані точок у вертикальному напрямку становили в першому віддалені 1100 мм, далі крок був 700 мм. На вході гарячого повітря для моделювання було використано граничну умову масового потоку. 50Гц частоти витяжного вентилятора відповідало 4,045 кг·с масової витрати. Температуру на вході було вказано як 465К. Кут впускного повітря визначали жалюзійними дефлекторами розподільника гарячого повітря на верхній частині сушильного комплексу, що становить 45°, або 65° до вертикального напрямку осі башти.



Група С Група В Група А

Рис. 3. Точки вимірювання температури в башті розпилювальної сушіння

Вихід гарячого повітря був встановлений як вихід тиску. Оскільки башта розпилювальної сушіння працювала при негативному тиску, вихідний тиск підтримувався на рівні 110 Па [6, 12]. Гранична умова «виходу» була використана в моделі DPM. Коефіцієнт конвективної тепловіддачі для цієї частини оцінювався в $12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [21]. Гранична умова моделі дискретної фази була встановлена як «відбиття» від стінки, тобто частинки відбивалися під кутом у обчислювальну область після удару об стінку. Коефіцієнти відбиття визначали за кутами відбиття 0,9 у нормальному напрямку та 0,5 по тангенціальному [1]. Диск розпилювача був сконфігурований як обертова стінка, вісь обертання збігалася з віссю ординат (рис 1, а), а швидкість обертання була встановлена на рівні 30 000 об/хв.

Моделювання проводилося з використанням комерційного програмного забезпечення ANSYS FLUENT 2021 R2 STUDENT. Обчислювальна область була об'єднана за допомогою ANSYS ICEM CFD, програмного забезпечення для попередньої обробки для створення структурованих гексаедричних сіток. Через великі швидкості та градієнти температури навколо впускного отвору гарячого повітря та диска розпилювача було проведено локальне уточнення сітки в зоні осі комплексі розпилювального типу для підвищення точності розрахунків. Загальна кількість сіток склала 5,73 мільйона. Безперервна фаза була описана в системі відліку Ейлера з моделлю RNG k- ϵ , прийнятою для вираження турбулентного потоку газової фази. Відомо, що в башті під час сушіння розпиленням існують швидкісні потоки зі складним вихровим рухом. Модель RNG k- ϵ була обрана тому, що вона врахувала вплив вихрового руху на турбулентність на відміну від стандартної k- ϵ моделі, ігноруючи цей ефект. Дискретна фаза була описана в рухомій системі відліку Лагранжа з моделлю DPM. Основний набір рівнянь був дискретизований методом кінцевих об'ємів, а для просторової дискретизації застосовано схему другого порядку. Під час розв'язування використовувався алгоритм SIMPLE (напівнеявний метод для рівнянь, пов'язаних із тиском) у вирішувачі на основі тиску.

Порівняння розподілу температур комплексу розпилювального типу при змінних параметрах кута регулювання верхніх жалюзі в повітророзподілюючому пристрої та зміни швидкості подачі продукту. Щоб перевірити точність результатів моделювання, змодельовані температури в башті розпилювальної сушіння були порівняні з експериментальними моделюваннями, як зазначено в табл. 1. Максимальна відносна похибка між змодельованою та виміряною температурами становила 2,76%, що було з'явилися в групі А. Змодельована величина вихідного повітря становила 353,88 К. Прогнозована залишкова вологість висушеного продукту становила 0,41%. Розроблений метод може забезпечити реалістичне відтворення у відображенні коливань температури в комплексах розпилювального типу, а також потенційний внесок у розробку та експлуатацію промислових розпилювальних сушарок. На рис. 4, а представлено змодельований розподіл температури у п'яти радіальних ділянках (рис. 3) на різних відстанях до стелі башти, а на рис. 4, б показана діаграма температурного контуру всередині башти під час процесу сушіння. З рис. 4, а видно, що температури в центральній області були вищими, ніж в інших областях для всіх розрізів. Найвища температура була на ділянці 1 100 мм, де вона була ближче до входу гарячого повітря.

Відносно нижчі температури в решті області цієї ділянки визначаються траєкторіями крапель розпилювача. Це явище було схоже на те, що було виявлено в до-

слідженні Mujumdar et al. [13]. Краплі покинули диск розпилювача з великою радіальною швидкістю і падали вниз у формі парасольки, спочатку контактуючи з гарячим повітрям і поглинаючи велику кількість тепла короткими спалахами, так що рідка фаза швидко випаровувалася, в результаті чого значне зниження температури в цьому регіоні.

Визначення температур за секціями та відносно кута повороту жалюзі, швидкості подачі продукту зазначено в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри дослідження відносної похибки при різних кутах повороту жалюзі в повітророзподілюючому пристрої

| Група | Секція (мм) | 1100 | 1800 | 2500 | 3200 | 3900 |
|-------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A | Кут жалюзі 45°, шв. 130 м/с | 369,84°C | 375,95°C | 378,55°C | 370,18°C | 361,19°C |
| | Кут жалюзі 65°, шв. 100 м/с | 378,94°C | 380,73°C | 385,12°C | 375,40°C | 371,44°C |
| | Відносна похибка % | 2.53% | 1.31% | 1.78% | 1.41% | 2.76% |
| B | Кут жалюзі 45°, шв. 130 м/с | 366,40°C | 386,06°C | 380,25°C | 390,09°C | 377,72°C |
| | Кут жалюзі 65°, шв. 100 м/с | 373,90°C | 382,29°C | 373,36°C | 384,40°C | 374,46°C |
| | Відносна похибка % | 2.10% | 1.00% | 1.81% | 1.50% | 0.86% |
| C | Кут жалюзі 45°, шв. 130 м/с | 446,86°C | 412,34°C | 396,35°C | 387,33°C | 373,56°C |
| | Кут жалюзі 65°, шв. 100 м/с | 444,30°C | 418,80°C | 388,28°C | 379,15°C | 365,13°C |
| | Відносна похибка % | 0.59% | 1.61% | 2.04% | 2.11% | 2.20% |

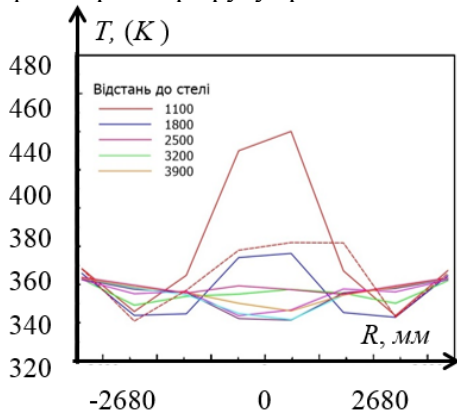
Оскільки інші секції послідовно віддалялися від входу гарячого повітря, центральні температури поступово знижувалися, і загальний розподіл мав тенденцію бути рівномірним. Результати відповідали експериментально вимірним розподілам температури, що демонструє правильність результатів моделювання. Також можна помітити, що температури біля стінки істотно знизилися з середньою температурою 345,26 K. Контур-діаграма на рис. 4, б також показує, що температури були дуже високими біля вхідного отвору гарячого повітря, поступово знижувалися вниз по центру башти і, в решті-решт, наближалися до температури повітря на виході.

Розподіл вмісту водяної пари, показаний на рис. 5, демонструє протилежну тенденцію до розподілу температури на рис. 4. Порівнюючи вміст пари в різних радіальних перерізах на рис. 5, а, можна помітити, що вміст був найнижчим у центральному регіоні і став рівномірно розподіленим зі зменшенням висоти розрізів. Найвище значення виявилось навколо центру башти в перетині 1100 мм. Це сталося тому, що гаряче повітря найвищої температури вперше контактувало з краплями, що містять найвищий вміст вологи, викликаючи інтенсивний масо- та теплообмін. Таким чином, волога в краплях продукту швидко випаровувалася в пару і мігрувала в гаряче повітря, що призвело до швидкого збільшення вмісту пари в цій області. Зі зменшенням перетину краплі безперервно контактували з гарячим повітрям, тому вміст пари в комплексі повільно зменшувався і поступово вирівнювався. Подальше спостереження за діаграмою на рис. 5, б також виявило, що існував асиметричний розподіл вмісту пари, який був подібний до розподілу температури на рис. 4, б.

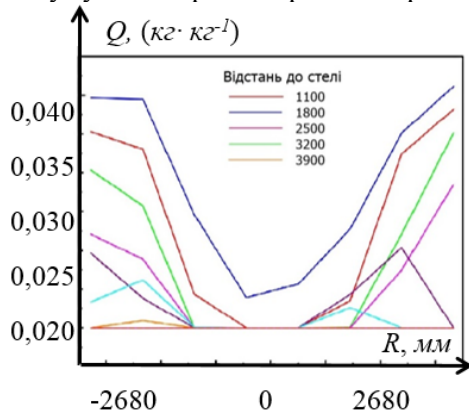
Це можна пояснити випадковим рухом крапель всередині башти. Хоча краплі, зазвичай, рухалися вниз, а великі частинки потрапляли б безпосередньо на дно

башти, дрібні частинки могли рухатися вгору разом з гарячим повітрям, що призводило до різної інтенсивності випаровування в різних ділянках комплексу. Це стало причиною того, що вміст водяної пари був рівномірно розподілений в інших частинах башти.

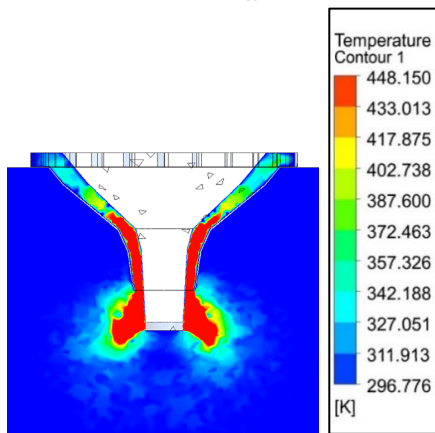
У дослідженні траєкторії руху крапель необхідно зрозуміти поведінку дискретної фази. Траєкторії руху крапель під час процесу сушіння проілюстровані на рис. 6.



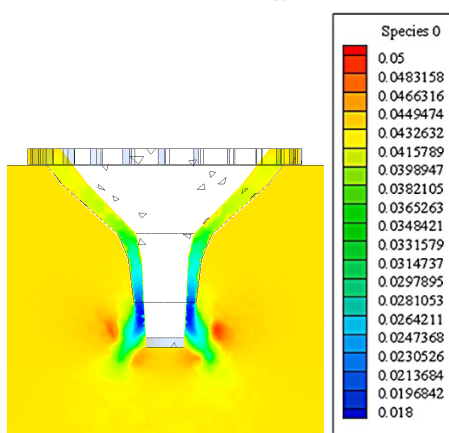
a



a



б



б

Рис. 4. Графіки розподілу: a — температури на різних ділянках; б — контуру температури в комплексі розпилювального типу

Рис. 5. Графіки розподілу: a — вмісту пари в різних перерізах; б — контуру вмісту пари в комплексі розпилювального типу

Після виходу з диска розпилювача менші краплі створювали менші відцентрові сили, що призводить до менших радіальних швидкостей і коротшої горизонтальної відстані розпилення. Після контакту з гарячим повітрям найвищої температури відразу висушуються, а потім швидко підвищуються в температурі. Таким чином, ці краплі мають найвищі температури. Більші краплі з більшими відцентровими силами мали вищі радіальні швидкості та більшу відстань розпилення, які досягали відстань далі від диска та ближче до стінки. Ці частинки були піддані впливу гарячого повітря з відносно низькими температурами, зазнавши більш тривалого періоду

сушіння з постійною швидкістю, вони мають нижчі температури. З рухом крапель вниз їх вологість і швидкість поступово зменшувалися, що призвело до приблизно рівномірної температури крапель. З рис. 6 також видно, що краплі випадковим чином рухалися всередині комплексу розпилювального типу.

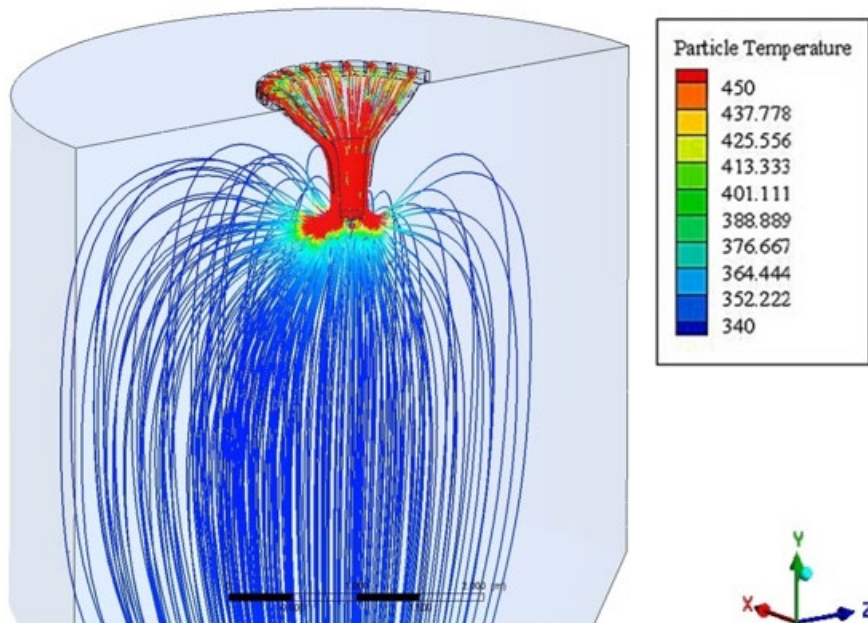


Рис. 6. Траєкторії руху теплоносія та крапель продукту під час сушіння

Процес висихання крапель тісно пов'язаний з розміром крапель. Для аналізу під час сушіння були відібрані частинки діаметром від 10 до 140 мкм, розпилені з диска, щоб дослідити їх діаметр і зміни температури з часом, як показано на рис. 7. У процесі сушіння волога всередині крапель нагрівалася та випаровувалася, а діаметр крапель поступово ставав меншим, як показано на рис. 7, а. Час, необхідний для висихання крапель змінювався в залежності від початкових діаметрів крапель, і чим більші розміри, тим довший час.

Краплі всіх розмірів повністю висихали протягом 1 с. На рис. 7, б зображені зміни температури цих крапель після потрапляння в башту. Найдрібніші краплі (10,00 і 17,71 мкм) були висушені миттєво (чорна та червона криві). Температури швидко зростали до максимальних значень 461 K, а потім поступово знижувалися до температури виходу, близької до температури повітря на виході. З рис. 7, б видно, що зміни температури інших крапель пройшли приблизно три стадії. Спочатку було невелике підвищення температури, коли ці краплі контактували з гарячим повітрям. Потім краплі продукту підтримували при температурі 318 K. Це вказувало на те, що краплі були з постійною швидкістю висихання, в той час як поверхні крапель залишалися насиченими, протягом якого була видалена більшість вологи. На цьому етапі діаметр крапель поступово зменшувався. Далі температура крапель швидко підвищилася до значень виходу, і висихання вступило в період падіння швидкості висихання.

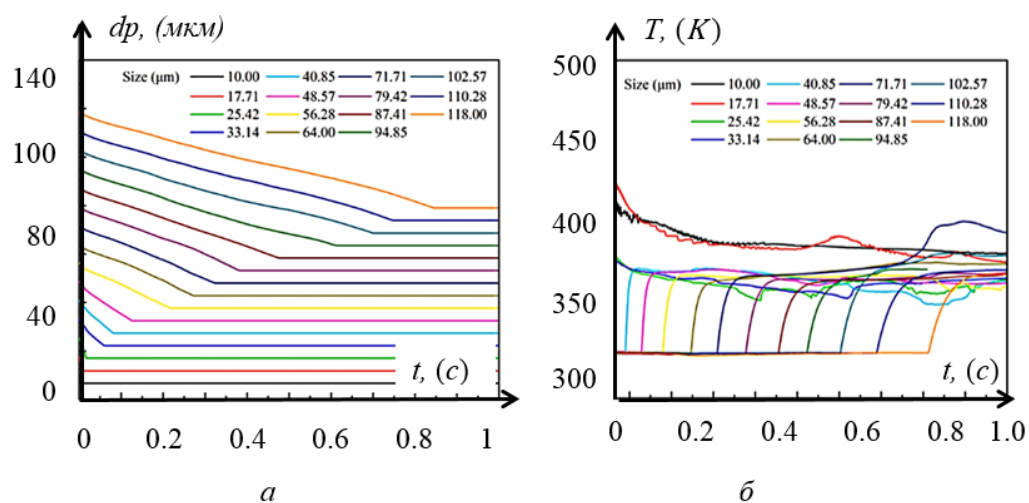


Рис. 7. Графіки зміни крапель продукту: *a* — діаметрів і *б* — температури під час сушіння

Важливим фактором була температура повітря на вході, де температура повітря може вплинути на розподіл вмісту пари в башті розпилювального сушіння і, згодом, на процес сушіння крапель. Щоб дослідити вплив температури повітря на вході, був змодельований випадок з температурою подачі 450 K , як показано на рис. 8.

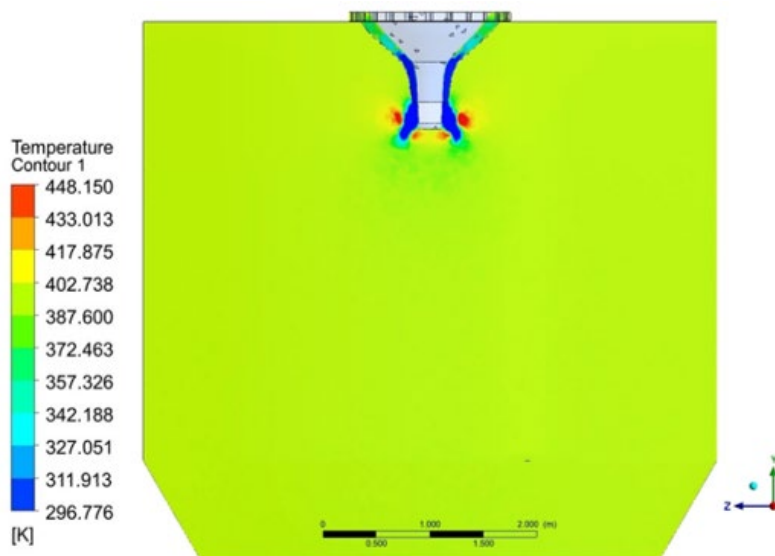


Рис. 8. Контур розподілення температури в сушильній башті

При такій температурі повітря на вході вміст пари був найнижчим на вході гарячого повітря (сині області) і найвищим навколо диска розпилювача (помаранчеві області). Це можна пояснити тим, що краплі, розсіяні навколо диска під дією відцентрової сили, спочатку стикалися з гарячим повітрям, а велика кількість випарованої вологи мігрувала з дискретної фази в безперервну фазу. З підвищенням температури повітря на вході, випаровування крапель ставало інтенсивнішим у верхній частині комплексу розпилювального типу. На основі рівнянь (4) і (7), підвищення

температури гарячого повітря може збільшити імпульс масообміну і таким чином сприяти переносу поверхневої пари. Згідно з рівнянням (8) вища температура гарячого повітря також може підвищити конвективний теплообмін, значно посилюючи таким чином процес масо-і теплопередачі. Однак при тій же швидкості подачі вища температура повітря на вході може призвести до вищої температури повітря на виході та збільшити споживання енергії. Як наслідок, для економії енергії на практиці слід застосовувати належним чином знижену температуру вхідного повітря та параметри швидкості продукту.

Висновки. Процес розпилювальної сушки математично описаний у цій статті на основі пілотної розпилювальної сушарки. Чисельні дослідження виконано з використанням пакета CFD ANSYS FLUENT. Експерименти з розпилювальним сушінням були проведені параметрами молочної сироватки. Також виміряні температури репрезентативних точок всередині башти розпилювальної сушіння для перевірки результатів моделювання. У результаті досягнуті узгодження між експериментальними значеннями з максимальною відносною похибкою 2,76%.

Рекомендовані оптимальні параметри: кут впускного повітря з жалюзійними дефлекторами розподільника на верхній частині розпилювального комплексу — в межах 45° , або 65° до вертикального напрямку осі башти. Гранична температура теплоносія = 450 K. Максимальна швидкість обертання розпилювального диску = 30000 об/хв. Для безперервної фази центральна область розпилювального комплексу мала більші температури та низький вміст водяної пари, інші області залишалися в основному з однаковими температурами та вмістом пари. Швидкість газу була найбільшою в центральній області і поступово зменшувалася в радіальному напрямку до стінки. Для дискретної фази деякі з крапель зазнали множинних вихрових рухів всередині сушильної башти. Найдрібніші крапельки висихали миттєво і швидко підвищувалися в значенні температури. Більшість крапель зазнали початкового підвищення температури, сушіння з постійною швидкістю та короткочасного сушіння. Підвищення температури повітря на вході може прискорити швидкість випаровування крапель, що призведе до збільшення вмісту водяної пари навколо диска розпилювача. Збільшення швидкості може призвести до прилипання вологого матеріалу до стіни через збільшення відстані розпилення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Липатов Н. Н. Сухое молоко / Н. Н. Липатов, В. Д. Харитонов // Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 264 с.
2. Mezhericher M. Theoretical modeling and numerical simulation of spray drying processes / M. Mezhericher, A. Levy, I. Borde A. S. Mujumdar (Ed.), // Handbook of Industrial Drying. — CRC Press, Boca Raton, 2015. — pp. 227—245.
3. Geranpour M. Recent advances in the spray drying encapsulation of essential fatty acids and functional oils, / M. Geranpour, E. Assadpour, S. M. Jafari // Trends Food Sci. Technol. — №102 (2020). — pp. 71—90.
4. Liu Z. Synthesis of interconnected carbon nanosheets anchored with Fe₃O₄ nanoparticles as broadband electromagnetic wave absorber, / Z. Liu, F. He, C. Shi, N. Zhao, E. Liu, C. He // Chem. Phys. Lett. — № 716 (2019). — pp. 221—226.
5. Shahsavari A. Numerical study of melting and solidification in a wavy double-pipe latent heat thermal energy storage system / A. Shahsavari, H. M. Ali, R. B. Mahani, P. Talebizadehsardari J. // Therm. Anal. Calorim. № 141 (2020). — pp. 1785—1799.
6. Ahmadi A. A. Configuration and optimization of a minichannel using water-alumina nanofluid by non-dominated sorting genetic algorithm and response surface method / A. A. Ahmadi, M. Arabbeiki, H. M. Ali, M. Goodarzi, M. R. Safaei // Nanomaterials. — № 10 (2020), <https://doi.org/10.3390/nano10050901>.

7. Woo M. W. Computational fluid dynamics simulation of spray dryers: an engineer's guide, / M. W. Woo // CRC Press, Boca Raton, 2017.
8. Ramachandran R. P. Computational Fluid Dynamics in Drying Process Modelling-a Technical Review / R. P. Ramachandran, M. Akbarzadeh, J. Paliwal, S. Cenkowski // Food Bioprocess Technol. 11 (2018) 271—292.
9. Wu Z. H. Simulation of spray drying of a solution atomized in a pulsating flow / Z. H. Wu, X. D. Liu // Dry. Technol. 20 (2002) 1101—1121.
10. Huang L. X. A parametric study of the gas flow patterns and drying performance of co-current spray dryer / Results of a computational fluid dynamics study, L. X. Huang, K. Kumar, A. S. Mujumdar // Dry. Technol. 21 (2003) 957—978.
11. Mezhericher M. Modeling of Droplet Drying in Spray Chambers Using 2D and 3D Computational Fluid Dynamics / M. Mezhericher, A. Levy, I. Borde, // Dry. Technol. 27 (2009) 359—370.
12. Malekjani N. Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD) / N. Malekjani, S.M. Jafari // Trends Food Sci. Technol. 78 (2018) 206—223.
13. Mujumdar A. S. An overview of the recent advances in spray-drying / A. S. Mujumdar, L. X. Huang, X.D. // Chen Dairy Sci. Technol. 90 (2010) 211—224.
14. Lyu F. Combined control of morphology and polymorph in spray drying of mannitol for dry powder inhalation / F. Lyu, J. J. Liu, Y. Zhang, X. Z. Wang // J. Cryst. Growth. 467 (2017) 155—161.
15. Ali M. CFD modeling of a pilot-scale countercurrent spray drying tower for the manufacture of detergent powder / M. Ali, T. Mahmud, P. J. Heggs, M. Ghadiri, A. Bayly, H. Ahmadian // Dry. Technol. 35 (2017) 281—299.
16. Javed S. Internal convective heat transfer of nanofluids in different flow regimes: A comprehensive review / S. Javed, H. M. Ali, H. Babar, M. S. Khan, M. M. Janjua, M. A. Bashir // Physica A. 538 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122783>.
17. Mezhericher M. Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics / M. Mezhericher, A. Levy, I. Borde // Chem. Eng. Process. 49 (2010) 1205—1213.
18. Knoll M. Influences of turbulence modeling on particle-wall contacts in numerical simulations of industrial furnaces for thermal particle treatment / M. Knoll, H. Gerhardtter, C. Hoehenauer, P. Tomazic // Powder Technol. 373 (2020) 497—509.
19. Jubaer H. The impact of self-sustained oscillations on particle residence time in a commercial scale spray dryer / H. Jubaer, S. Afshar, G. Le Maout, S. Mejean, C. Selomulya, J. Xiao, X. D. Chen, R. Jeantet, M. W. Woo // Powder Technol. 360 (2020) 1177—1191.
20. Kilic M. Numerical investigation of combined effect of nanofluids and multiple impinging jets on heat transfer / M. Kilic, H. M. Ali // Therm. Sci. 23 (2019) 3165—3173.
21. Gosciniak J. Wheatstone bridge configuration for evaluation of plasmonic energy transfer / J. Gosciniak, M. Mooney, M. Gubbins, B. Corbett, // Sci. Rep. 6 (2016) 24423.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРХНЕГО ЖАЛЮЗИОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУШЕНИЯ В КОМПЛЕКСАХ РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ТИПА

В. И. Туфекчи

Ю. И. Вересоцкий

Национальный университет пищевых технологий

Проведен осмотр испарения влаги из части молочных продуктов, в частности молочной сыворотки, и движения капель, что важно для оптимального процесса сушки распыления. Исследования на основе метода Эйлера-Лагранжа экспериментально подтверждены в модели с верхним распределением теплоносителя в ди-

сковом распылительном комплексе. Прогнозируемая температура хорошо согласуется с измеренным значением, а максимальная относительная погрешность составляет 2,76%. Визуализировано продемонстрированное мультифизическое газораспределение и траектории капель. В процессе сушки наблюдается воздух обратного потока и закрученного движения капель. Повышение температуры воздуха на входе может увеличить скорость высыхания, а увеличение вращения диска может вызвать налипание продукта на стенки распылительного комплекса. Результаты помогли в дальнейшем проектировании и понимании оптимальных параметров.

Ключевые слова: распылительный комплекс, CFD моделирование, испарение, траектории капель, распределение температур.

УДК 621.316

OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF POSITIONAL PNEUMATIC DRIVE OF PACKAGING MACHINE

L. Kryvoptias-Volodina, A. Derenivska, N. Maslo, O. Volodin

National University of Food Technologies

Key words:

positional pneumatic actuator, mechatronic module, packaging, packing machine, law of motion

Article history:

Received 15.11.2021

Received in revised form

17.11.2021

Accepted 24.11.2021

Corresponding author:

tmipt.deren.a@gmail.com

ABSTRACT

Modern problems of design, layout and selection of packaging equipment for food production lines, which is developing in conditions of fierce competition and rapid product renewal, packaging, the topical issue is to ensure a reasonable choice of optimal structure and parameters of machines, reduce development and manufacturing time, quality and competitive ability. Modern packaging machines are highly mechanized and automated equipment with the use of mechatronic modular systems.

The mathematical model for the synthesis of a functional mechatronic module based on a positional pneumatic actuator for a packaging machine has been developed and implemented. A scientific approach to the choice of process modeling parameters characteristic of a linear positional pneumatic actuator of bilateral action with an additional condition of backpressure braking is proposed. Theoretical and experimental analysis of the existing laws of motion of the working bodies of functional devices in the system of functional mechatronic modules on the example of tracking electro pneumatic systems with changing the acceleration of the output working link. The obtained results should be used during the design of dosing and packing equipment, which includes a positional pneumatic actuator.

The result is that the stop and stabilization of the location of the output link of the drive is within the error of 0.4%, and this significantly increases the positioning accuracy for the object of processing — consumer packaging on the reception table during the packaging of artificial products.

The processed results confirmed the effectiveness of adjusting the breakpoint of the output link of the pneumatic actuator. It is planned to test the obtained results experimentally on the own stand of research of positional drives.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-13

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ ПОЗИЦІЙНОГО ПНЕВМОПРИВОДУ ПАКУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Л. О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук

А. В. Деренівська, канд. техн. наук

М. А. Масло, д-р техн. наук

О. С. Володін

Національний університет харчових технологій

У статті розроблено та реалізовано математичну модель синтезу функціонального мехатронного модуля на основі позиційного пневмоприводу для пакувальної машини. Запропоновано науковий підхід щодо вибору параметрів моделювання процесів, характерних для лінійного позиційного пневмоприводу двосторонньої дії із додатковою умовою гальмування протитиском. Здійснено теоретичний та експериментальний аналіз існуючих законів руху робочих органів функціональних пристроїв у системі функціональних мехатронних модулів на прикладі слідкувальних електропневматичних систем із зміною прискорення вихідної робочої ланки. Отримані результати доцільно використовувати під час проектування дозувально-фасувального обладнання, у складі якого є позиційний пневмопривод.

Ключові слова: позиційний пневмопривод, мехатронний модуль, упаковка, пакувальна машина, закон руху.

Постановка проблеми. З огляду на сучасні проблеми конструювання, компоновки і вибору пакувального обладнання потокових ліній харчових виробництв, яке розвивається в умовах жорсткої конкуренції та швидкого оновлення продукції, упаковки, актуальним питанням є забезпечення обґрунтованого вибору оптимальних структури й параметрів машин, скорочення термінів розроблення та виготовлення, раціонального зниження вартості, підвищення якості та конкуренто спроможності. Сучасні пакувальні машини — це високомеханізована і автоматизована техніка із застосуванням мехатронних модульних систем [1, с. 51].

Зважаючи на сучасний етап розвитку пакувальної індустрії, рівень удосконалення методів аналізу і синтезу обладнання, важливим є долучення багатокритеріальної оптимізації для можливості одержання суттєвого підвищення показників ефективності. Тому актуальною є науково-прикладна проблема розроблення наукової концепції синтезу пакувального обладнання з використанням адаптованого до специфіки машин математично-програмного супроводу. [2, с. 266]. Такий підхід до проектування надасть можливість у мінімальні терміни з високою достовірністю здійснити вибірковий аналіз допустимих варіантів компоновань із визначеного набору функціональних мехатронних модулів (ФММ), оцінити їх параметри та обрати кращі варіанти [3, с. 7].

У праці [4, с. 719] запропонована реалізація нового підходу до синтезу мехатронної системи окремих вузлів пакувальної машини. Система керування побудована на двох типах приводу: електричній і пневматичній. Так, електрична система контролює безпеку машини, температурний контроль окремих вихідних ланок, а також активує пневматичну систему. Пневмопривод вмикає клапан дозування та горизонтальні механізми формування поперечного і повздовжнього швів. Взаємодія між цими системами має недостатній теоретичний опис, а тому не може бути впроваджена в інші типи пакувальних машин. Описане порівняльне дослідження на основі експериментальних досліджень впливу контролерів на роботу пневматичних систем, а також принципів їх вибору [5, с. 112] дає змогу розробити обґрунтовані рекомендації до підбору елементів мехатронної системи. Визначенню впливу геоме-

тричних, кінематичних і технологічних параметрів окремих мехатронних функціональних модулів на процеси в пакувальних машинах присвячено дослідження [6, с. 621], де описано тільки один вид синтезу на основі ежекторної конструкції, що обмежує можливість використання описаного методу з іншим видом обладнання.

Пневматичний привод із прикладами промислових застосувань для спеціальних технологічних пакувальних модулів описано в [7, с. 442]. Зокрема, авторами приділяється увага статичним і динамічним характеристикам, які відіграють важливу роль у загальній поведінці системи керування. В системах пакувальних машин усе частіше використовують модулі керування мехатронного типу. Тому дослідження динамічної поведінки пневматичного приводу є першорядним для розробників систем керування. Огляд літератури, який стосується систем пневматичних приводів, зокрема, інновації у різних підходах керування, описано авторами [8, с. 122]. Описані методи моделювання, керування та моделювання, розроблені для лінійних пневмоприводів. Описані дослідження [9, с. 14] зосереджуються на аналізі конструкції вузла пакувальної машини, але без врахування продуктивності, практичних обмежень, нелінійності, невизначеності та нових напрямків впровадження пневматичних приводів. Класичний підхід із елементами математичного моделювання, описаний у [10, с. 550], надає підґрунтя для подальших досліджень, пов'язаних із конструкцією пневматичних приводів, але не враховує моделювання поведінки технічної системи із явищами пневмопідпору.

Тому є доцільним під час проведення досліджень щодо моделювання режимів роботи для мехатронних функціональних модулів пакувальних машин, основою яких є позиційний пневмопривод.

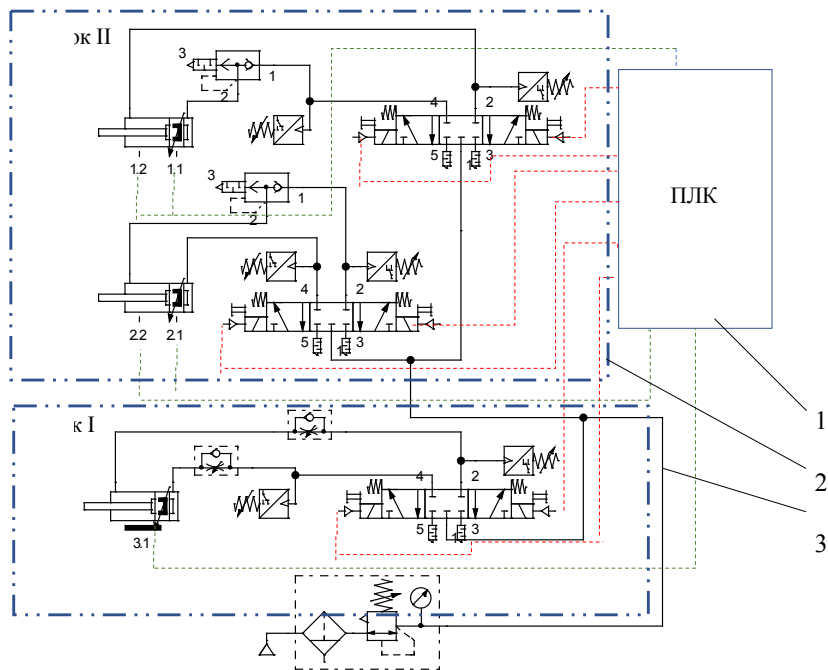
Метою дослідження є математичне та фізичне моделювання процесів, пов'язаних із позиційними пневмоприводами. Дослідження ґрунтуються на фізико-механічних характеристиках приводу, пов'язаного з технологічними операціями обробки та пакування штучних харчових продуктів за допомогою функціональних мехатронних модулів. Додатковим завданням є моделювання окремих режимів роботи позиційних пневматичних приводів, пов'язаних із забезпеченням безперервного потоку продуктів на технологічну ділянку.

Матеріали і методи. Під час дослідження використані методи динаміки машин, теоретичної механіки, теорії числового розв'язання систем диференціальних рівнянь, методи побудови математичних моделей і дослідження динамічних характеристик функціональних мехатронних модулів пакувальних машин. Застосовані стандарти, які базуються на чинних національних стандартах (ДСТУ), гармонізованих із міжнародними (ISO) і європейськими вимогами (EN).

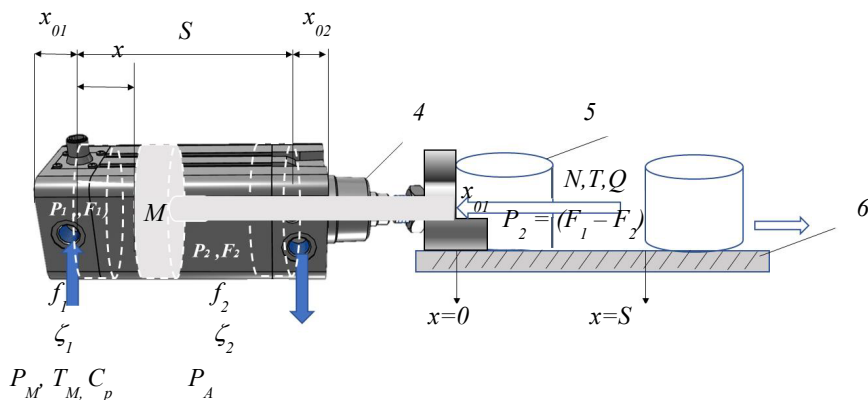
Математичне моделювання роботи пневматичного позиційного приводу ґрунтувалось на схемі та описі експериментального стенду, розробленого авторами. Принципова пневматична схема досліджуваної технічної системи наведена на рис. 1.

Система керування (рис. 1, а) об'єднує два основні блоки: I — система позиційного електропневматичного приводу переміщення та позиціонування об'єкту (споживчої упаковки) за час дозувально-фасувальної операції; блок II — дозувальний модуль системи шибберного типу для обробки дрібно-штучних харчових продуктів. Компонівка функціонального мехатронного модуля базується на дозаторі об'ємного типу із шибберними заслінками і транспортуючого модуля споживчої упаковки позиційного типу зі зворотнім зв'язком за координатою переміщення (рис. 1, б). Позиціонер (пневматичний позиційний привод) виконано на основі пневмоциліндра двосторонньої дії лінійного типу з електропневматичним керуванням. До складу позиціонера входить потенціометричний датчик місцезнаходження, установлений на корпусі пневмоциліндра та блок керування; 5/3 бістабільний електропневматичний розподільник з перекритими лініями у центральній позиції; дроселі зі зворотнім

клапаном; пропорційні реле тиску із двома окремими виходами PNP. Реле тиску забезпечує моніторинг порогів спрацьовування та гістерезис керуючого сигналу із програмним переналаштуванням виходів у функції Н.З. (нормально замкненого) або Н.Р. (нормально розімкненого) контактів. Загальну координацію системи керування забезпечує контролер (ПЛК). Привод, позиціонер, дає змогу отримати швидкість переміщення до 0,02 м/с, з похибкою позиціонування споживчої упаковки — 1% довжини ходу.



a



b

Рис. 1. Загальний вид дослідної технічної системи: *a* — принципова пневматична схема керування позиційним пневмоприводом: 1 — контролер; 2 — блок керування для дозувально-фасувального модуля шиберного типу; 3 — блок керування позиційним електропневматичним приводом для системи переміщення та позиціонування споживчої упаковки за час дозувально-фасувальної операції; *б* — функціональний мехатронний модуль подачі споживчих упаковок на ділянку обробки: 4 — позиціонер; 5 — споживча упаковка; 6 — перевантажувальний стіл

Результати дослідження. У ході дослідження кінематичного та динамічного навантаження, пов'язаного із роботою пневмоциліндра двосторонньої дії, лінійного типу, враховувався протитиск у вихлопній камері циліндра. Тобто зниження швидкості за допомогою подачі протитиску починалось, як тільки поршень досягав заданого значення координати переміщення x . Так, до зупинки поршня у вихлопній камері відбувається витікання газу в атмосферу. Математична модель до цього моменту описується класичними рівняннями газодинаміки і динаміки пневматичного приводу [10]. Далі, враховуючи рух приводу та відповідну зміна тиску повітря в камері нагнітання протягом усього періоду руху і гальмування, розроблена математична модель для типового позиційного пневмопривода (1)—(6). Відповідно, зміна тиску у вихлопній камері до здійснення гальмування задається рівнянням:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{kf_{2H}\sqrt{RT_2}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{\xi_{2H}}} \sqrt{p_2^2 - p_A^2} + \frac{kp_2}{(S-x+x_{02})} \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

У режимі зниження швидкості руху поршня, під дією протитиску, досліджені два принципово протилежні газодинамічні процеси.

1. Тиск вихлопної камери p_2 менше за величину протитиску p_{M2} , тобто $p_2 < p_{M2}$. Відповідно, відбувається наповнення цієї камери. Тоді рівняння зміни тиску у вихлопній камері має вигляд:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{kf_{2H}\sqrt{RT_M}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{\xi_{2H}}} \sqrt{p_{M2}^2 - p_2^2} + \frac{kp_2}{(S-x+x_{02})} \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

де p_{M2} — величина для налаштування пропорційного реле тиску, який формує протитиск у вихлопній камері; f_{2H} та ξ_{2H} — площа прохідного перерізу для вихлопної лінії та відповідний опір у режимі нагнітання протитиском.

2. У вихлопній камері тиск вищий за величину протитиску, маємо $p_2 > p_{M2}$. Відбувається витікання газу крізь лінію, пов'язану з реле тиску, мережа з тиском p_{M2} . Тобто реле тиску надає команду на стравлювання повітря в атмосферу. Будемо вважати, що при цьому клапан підтримує постійну величину протитиску. Тому в математичній моделі вважаємо, що вихлоп відбувається в середину із тиском p_{M2} . У цьому випадку рівняння зміни тиску вихлопної порожнини матиме вигляд:

$$\frac{dp_2}{dt} = \frac{kf_{2B}\sqrt{RT_M}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{\xi_{2B}}} \left(\frac{p_M}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{p_2^2 - p_{M2}^2} + \frac{kp_2}{(S-x+x_{02})} \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

де f_{2B} та ξ_{2B} — площа прохідного перерізу вихлопної лінії та відповідний опір у

режимі випуску повітря крізь редукційний пневмоклапан. Зауважимо, що ξ_{2B} — опір лінії між камерою та лінією із реле тиску. Таким чином, протягом усього періоду руху приводу процеси у вихлопній камері описуються рівняннями з урахуванням коефіцієнтів управління, що приймають значення 0 або 1 залежно від умов технологічного процесу:

$$\begin{aligned} \frac{dp_2}{dt} = & -H_B \frac{kf_{2B}\sqrt{RT_M}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{\xi_{2B}}} \left(\frac{p_2}{p_M}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{p_2^2 - p_{M2}^2} + \dots \\ & \dots + H_{HM2} \frac{kf_{2H}\sqrt{RT_M}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{2H}} \sqrt{p_{M2}^2 - p_2^2} - \dots \\ & \dots - H_{BM2} \frac{kf_{2B}\sqrt{RT_M}}{F_2(S-x+x_{02})\sqrt{2B}} \left(\frac{p_2}{p_M}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{p_2^2 - p_{M2}^2} + \frac{kp_2}{(S-x+x_{02})} \frac{dx}{dt}. \end{aligned} \quad (4)$$

Коефіцієнти управління задаються за такими умовами:

$$\left\{ \begin{aligned} H_B &= \begin{cases} 1, \text{при } x < x_T; \\ 0, \text{при } x \geq x_T; \end{cases} \\ H_{HM2} &= \begin{cases} 1, \text{при } x \geq x_T \text{ і } p_2 < p_{M2}; \\ 0, \text{при } x < x_T \text{ або } x \geq x_T \text{ і } p_2 \geq p_{M2}; \end{cases} \\ H_{BM2} &= \begin{cases} 1, \text{і } x \geq x_T \text{ і } p_2 \geq p_{M2}; \\ 0, \text{і } x < x_T \text{ або } x \geq x_T \text{ і } p_2 < p_{M2}. \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Сформована остаточно математична модель позиціонера із системою гальмування протитиском матиме вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 M \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - p_A (F_1 - F_2) - N - T_S - T_D - h \frac{dx}{dt}; \\
 \frac{dp_1}{dt} = \frac{k f_1 \sqrt{RT_M}}{F_1 (S + x_{01}) \sqrt{\xi_{S1}}} \sqrt{p_M^2 - p_1^2} + \frac{k p_2}{(x + x_{01})} \frac{dx}{dt}; \\
 \frac{dp_2}{dt} = -H_B \frac{k f_{2B} \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \sqrt{\xi_{S2B}}} \left(\frac{p_2}{p_M} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{p_2^2 - p_{M2}^2} + \dots \\
 \dots + H_{HM2} \frac{k f_{2H} \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \sqrt{\xi_{S2H}}} \sqrt{p_{M2}^2 - p_2^2} - \dots \\
 \dots - H_{BM2} \frac{k f_{2B} \sqrt{RT_M}}{F_2 (S - x + x_{02}) \sqrt{\xi_{S2B}}} \left(\frac{p_2}{p_M} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \sqrt{p_2^2 - p_{M2}^2} + \dots \\
 \dots + \frac{k p_2}{(S - x + x_{02})} \frac{dx}{dt}; \\
 H_B = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x < x_T; \\ 0, \text{ якщо } x \geq x_T; \end{cases} \\
 H_{HM2} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x \geq x_T \text{ і } p_2 < p_{M2}; \\ 0, \text{ якщо } x < x_T \text{ або } x \geq x_T \text{ і } p_2 \geq p_{M2}; \end{cases} \\
 H_{BM2} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x \geq x_T \text{ і } p_2 \geq p_{M2}; \\ 0, \text{ якщо } x < x_T \text{ або } x \geq x_T \text{ і } p_2 < p_{M2}; \end{cases} \\
 T_S = \begin{cases} P_p \text{ якщо } P_p < T_{pok} \text{ і } \frac{dx}{dt} = 0; \\ T_{divg} \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \text{ в останніх випадках}; \end{cases} \\
 T_D = \begin{cases} P_p \text{ якщо } P_p < T_0 \text{ і } \frac{dx}{dt} = 0; \\ T_0 \operatorname{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \text{ в останніх випадках}; \end{cases} \\
 \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dx}{dt} = x = 0, \text{ якщо } x \leq 0; \\
 \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dx}{dt} = 0, x = S, \text{ якщо } x \leq S.
 \end{array} \right. \quad (6)$$

Розрахунки за наведеною математичною моделлю здійснювались у MathCAD за допомогою авторської програми. Графіки перехідного процесу наведено на рис. 2.

За вихідні параметри моделювання (6) прийнято: крок інтегрування $d_t = 0.0001$; газову сталу $R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; температура повітря у магістралі $T_M = 293 \text{ К}$; адіабатичний показник повітря $k = 1.4$; тиск атмосферний $P_A = 100000 \text{ Па}$; тиск магістральний у межах від $P_M = 400000 \text{ Па}$ до $P_M = 700000 \text{ Па}$; протитиск у межах від $P_M = 200000 \text{ Па}$ до $P_M = 350000 \text{ Па}$; довжину ходу пневмоциліндра $S = 0.4 \text{ м}$; масу рухомих частин $M = 2 \text{ кг}$; навантаження статичне $N = 20 \text{ Н}$; приведену координату переміщення поршня $x_{01} = x_{02} = 0.09 \text{ м}$; діаметр поршня у межах $D_1 = 0.032 \text{ м}$; $D_2 = 0.032 \text{ м}$; D_L — діаметр підвідного трубопроводу; коефіцієнт в'язкого тертя $h = 300$, для пневматичного поршня; коефіцієнт опору магістрального стисненого повітря $\zeta_1 = 65$; коефіцієнт опору повітря на вихлопі $\zeta_2 = 100$; коефіцієнт опору у вихлопній лінії в період гальмування $\zeta_{2в} = 2000$; коефіцієнт опору у лінії протитиску $\zeta_{2Н} = 67$; початок гальмування за координатою $x_t = 0.91S, \text{ м}$; F_1 — площа поршня, м^2 ; F_2 — корисна площа навантаження для штокової камери, м^2 ; $f_1 = f_1^e$ — площу перерізу для магістральної лінії стисненого повітря, м^2 ; $f_2 = f_2^e$ — площу перерізу для відвідної лінії стисненого повітря, м^2 .

Розрахунки всіх змінних виконано на кожному кроці інтегрування. Чисельне інтегрування виконано за методом Ейлера, що дає повне уявлення про фізичні процеси за їх сутністю і відображає відомі фізичні закони.

Усі отримані в ході розрахунків результати та значення змінних формувались в окремому масиві. На підставі даних масиву MathCAD забезпечив побудову графіків зміни параметрів, які входили до нього. На рис. 2 зображено графіки зміни параметрів позиційного лінійного пневмоприводу двосторонньої дії під час гальмування, за рахунок протитиску у вихлопній камері та надходженням керуючого сигналу від пропорційного реле тиску.

Результати моделювання роботи позиційного приводу для зміни тиску у діапазоні від 4 до 6 бар, рис. 3.

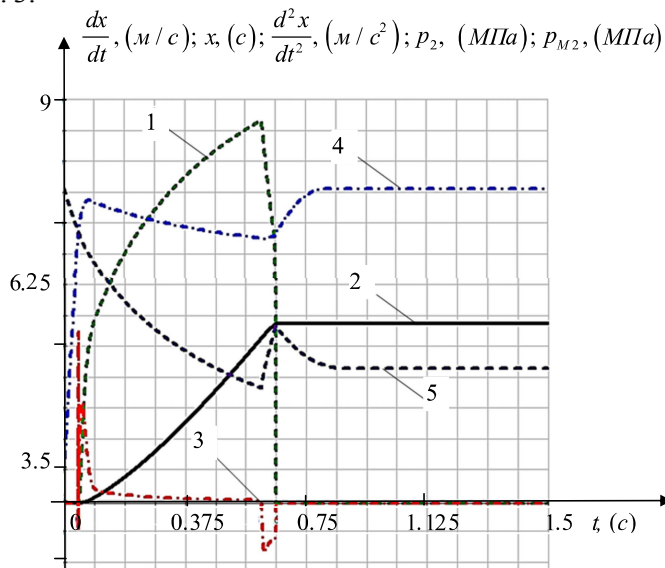


Рис. 2. Графіки характеристики роботи позиційного лінійного пневмоприводу, отримані на підставі математичного моделювання: зміни швидкості під час руху поршня — 1, зміна координати — 2, зміни прискорення — 3 і тисків у камері нагнітання — 4 і вихлопній камері — 5; діаметр поршня 32мм, діаметр штока — 12мм, магістральний тиск — 7 бар

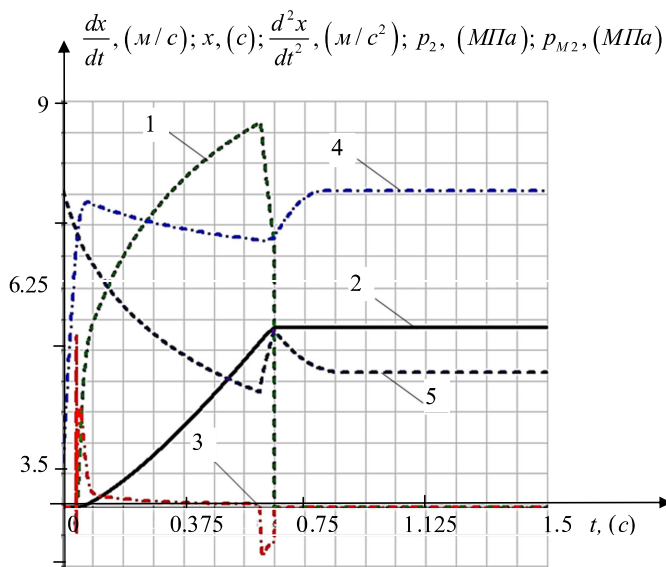


Рис. 3. Графіки характеристики роботи позиційного лінійного пневмоприводу, отримані на підставі математичного моделювання: графік зміни швидкості поршня — 1, зміна координати — 2, зміна прискорення — 3 і тисків у камері нагнітання — 4 і вихлопній камері — 5; діаметр поршня 32мм, діаметр штока — 12мм, магістральний тиск — 4 бари

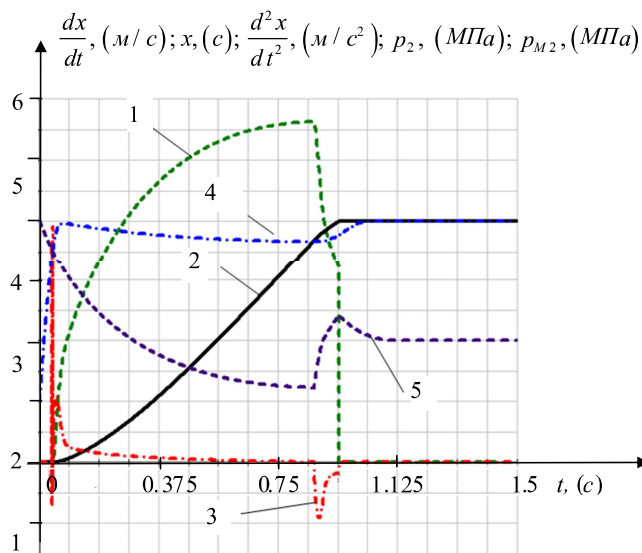


Рис. 4. Графіки характеристики роботи позиційного лінійного пневмоприводу, отримані на підставі математичного моделювання: зміни швидкості руху поршня — 1, зміна координати — 2, зміни прискорення — 3 і тисків у камері нагнітання — 4 та вихлопної камери — 5; діаметр поршня 32 мм, діаметр штока —12 мм, магістральний тиск — 6 бар

На підставі отриманих результатів математичного моделювання, встановлено:

- з рис. 2 видно, що при досягненні приводом координати початку гальмування $x_t = 0.91S = 0,36$ м (в момент часу $t = 0.6$ с);

- з рис. 3 видно, що при досягненні приводом координати початку гальмування $x_t = 0.91S = 0,36$ м (в момент часу $t = 0.85$ с);

- з рис. 4 видно, що при досягненні приводом координати початку гальмування $x_t = 0.91S = 0,368$ м (в момент часу $t = 0.65$ с).

Висновки. Моделювання процесів, характерних для лінійного позиційного пневмоприводу двосторонньої дії із додатковою умовою гальмування протитиском підтвердило, що, по-перше, відбувається підвищення тиску вихлопної камери, (рис. 2—4), яке обумовлює зменшення швидкості приводу до відповідної мінімальної величини описаної графіками.

По-друге, за рахунок зниження швидкості тиск у камері нагнітання підвищується. Після зупинки магістральний тиск вихлопної камери падає до величини протитиску p_{M2} , відповідно тиск у камері нагнітання зростає до значення магістрального тиску p_M .

Зупинка і стабілізація місцеположення вихідної ланки приводу відбувається у межах похибки 0,4%, і це суттєво підвищує точність позиціонування для об'єкта обробки — споживчої упаковки на приймальному столі під час операції фасування штучних продуктів.

Відповідно, зменшення часу досягнення приводом заданої координати початку гальмування x_t можливе за рахунок збільшення витратних характеристик пневмоциліндра, зокрема збільшення вихлопного перерізу робочих камер.

Опрацьовані результати підтвердили ефективність корегування точки зупинки вихідної ланки позиційного пневмоприводу. Отриманні результати планується перевірити експериментально на розробленому автрами статті стенді дослідження позиційних приводів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Packaging Equipment. The Science and Technology of Flexible Packaging / Barry A. Morris // Elsevier Science., 2016. — pp. 51—66. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-24273-8.00003-4>.
2. Ilie Ioana. Mechatronic module for speed control in hydraulic drives / Ioana Ilie // Conference: 22nd International Conference on Hydraulics and Pneumatics. — HERVEX. — Romania, November, 2016. — Volume: Proceedings. — pp. 265—272. — Mode of access: <https://fluidas.ro/hervex/proceedings2016/> pp. 266—270.PDF.
3. Kraume Matthias. Transportvorgänge in der Verfahrenstechnik: Grundlagen und apparative Umsetzungen / Matthias Kraume // Springer, 2013. — Verlag. — P.210. — Zugriffsmodus: <https://books.google.com.ec/books?id=q2keBgAAQBAJ>.
4. Lengerke Omar. Mechatronics design of a low-cost packaging and dosing machine for doughy products / Omar Lengerke // ABCM Symposium Series in Mechatronics, 2008. — Vol. 3. — pp.717—725. — Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/229040784_Mechatronics_Design_of_a_Low-Cost_Packaging_and_Dosing_Machine_for_Doughy_Products.
5. Mihalache Ghinea. Pneumatic Cylinders Controlled by Two Different Controllers, Arduino and MyRIO: an Educational Approach / Ghinea Mihalache // Matem. modelirovanie. International journal of education and information technologies, 2022. — Volume 16. — pp. 110—121. — doi: <http://doi.org/10.46300/9109.2022.16.12>.
6. Kryvoplias-Volodina Liudmyla. Investigation of ejection process in mechatronic functional modules of packaging machines / Liudmyla Kryvoplias-Volodina, Oleksandr Gavva, Taras Hnativ, Kateryna Rivna // Ukrainian Food Journal. 2019. — Volume 8, Issue 3. — pp. 620—633. — doi: <http://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-3-16>.
7. Hazem Ali. A Review of Pneumatic Actuators / Ali Hazem // Modeling and Control. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2009. — Volume 3, Issue 2. — pp. 440—454. — Mode of access: [https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Pneumatic-Actuators-\(Modeling-and-Ali-Bahari/d4b8dbbc058ca5a424514b848bc7df27c8e7630d](https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Pneumatic-Actuators-(Modeling-and-Ali-Bahari/d4b8dbbc058ca5a424514b848bc7df27c8e7630d).
8. Rohrig R. Comparative computational study of turbulent flow in a 90 pipe elbow / R. Rohrig, & Tropea Jakirlic // International Journal of Heat and Fluid Flow 55. pp. 120—131. — doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.07.011>.

9. Shibinskiy K. G. Development of Energy Efficient Mechatronic Module for Alternative Energy / K. G. Shibinskiy, Efremenkov E. A., Galin N. E. // Conference Series Materials Science and Engineering, April 2020. — Volume 795(1). P. 10. — doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899X/795/1/012026>.

10. Kryvoplias-Volodina L. Dynamics of mechatronic function modules drives of flow technological lines in food production / L. Kryvoplias-Volodina, O. Gavva // Ukrainian Food Journal. — 2018. — Volume 7, Issue 4. — pp. 563—572. — doi: <http://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-16>.

ОПТИМИЗАЦИЯ РОБОЧИХ РЕЖИМОВ ПОЗИЦИОННОГО ПНЕВМОПРИВОДА УПАКОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Л. А. Кривопляс-Володина, А. В. Дереновская, Н. А. Масло, А. С. Володин
Национальный университет пищевых технологий

Разработана и реализована математическая модель синтеза функционального мехатронного модуля на основе позиционного пневмопривода для упаковочной техники. Предложено научный подход к выбору параметров моделирования процессов, характерных для линейного позиционного пневмопривода двухстороннего действия с дополнительным условием торможения противодействием. Проведено теоретический и экспериментальный анализ основоположных законов движения рабочих органов функционирующих устройств и системно функционирующих мехатронных модулей на примере следящих электропневматических систем со сменой ускорения входящего рабочего звена. Полученные результаты следует использовать при проектировании дозирочно-фасовочного оборудования, в составе которого есть позиционный пневмопривод.

Ключевые слова: позиционный пневмопривод, мехатронный модуль, упаковка, упаковочная машина, закон движения.

УДК 621.87

CREATION AND RESEARCH OF MECHATRONIC MODULE FOR DETERMINATION OF MATERIAL OF PLASTIC BOTTLES IN LINES OF SECONDARY PROCESSING

A. Kharkevych, M. Yakymchuk, T. Yakymchuk, V. Yakymchuk
National University of Food Technologies

Key words:

plastic bottle,
recycling,
QR-code,
Mobius loops

Article history:

Received 07.12.2021
Received in revised form
09.12.2021
Accepted 10.12.2021

Corresponding author:

anyakharkevych.99@
yahoo.com

ABSTRACT

The proposed set of technical solutions will automatically collect information from each used plastic packaging during its sorting and enter into the created general electronic accounting system. The obtained information will include the date of manufacture of the plastic product, the type of polymer material, color, volume (size), the name of the manufacturer and the individual product code. This approach will create a nationwide accounting system for each plastic package starting from the manufacturing stage and ending with the processing stage, which will allow you to track and analyze trends in the manufacture and processing of plastic packaging by manufacturers.

The main advantage of the proposed solutions is the introduction of a sorting system for used plastic packaging, which can be quickly reconfigured according to the information received, for example, the names of companies producing these products, or the type of material or volume of packaging. The scientific development is based on the concept of using the labeling of plastic products — QR-code. A distinctive feature of this principle is the use of QR-code as a means of labeling with advanced information capabilities.

The practical value of the work is the creation of a new design of the device for reading information from the surface of the used plastic product during its sorting.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-30-14

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ ПЛАСТИКОВИХ ПЛЯШОК У ЛІНІЯХ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ

А. О. Харкевич

М. В. Якимчук, д-р техн. наук

Т. С. Якимчук

В. М. Якимчук

Національний університет харчових технологій

Основною перевагою запропонованих рішень є впровадження системи сортування використаної пластикової упаковки, яка може швидко переналагоджуватися згідно з отриманою інформацією, наприклад, за назвами компаній-виробників продукції, або за видом матеріалу чи об'єму упаковки. В основу наукової розробки покладена концепція використання маркування пластикового виробу — QR-коду. Характерною рисою такого принципу є використання QR-коду як засобу маркування з розширеними інформаційними можливостями.

Практичною цінністю роботи є створення нової конструкції пристрою для читання інформації з поверхні використаного пластикового виробу під час його сортування.

Ключові слова: пластикова пляшка, переробка, QR-код, петля Мебіуса.

Постановка проблеми. Останнім часом у конструкціях сучасних ліній вторинної переробки пластикових пляшок спостерігаються революційні зміни, пов'язані з активною появою нових технічних елементів у системі автоматизації та контролю технологічних процесів і технологій створення штучного інтелекту [1]. Утилізація відходів є одним з найактуальніших питань сьогодення як в Україні, так і за кордоном.

Серед споживчих упаковок переважають упаковки з пляшок. Для всіх споживчих упаковок перед переробкою досить важливим етапом є сортування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі поведінки з твердими побутовими відходами з позицій їх вторинної переробки присвячено чимало наукових праць. Попри це, дуже мало вітчизняних і зарубіжних науковців приділяють увагу використанню сучасних технологій в операціях сортування в процесі переробки використаної пластикової упаковки. В працях [1—9] розглянуто основні тенденції та закономірності переробки пластикових упаковок. В [1—4] висвітлено основні проблеми накопичення, поширення та використання пластикових відходів. Автори праць пропонують різні концепції їх переробки та рішення щодо роздільного сортування. Однак у зазначених дослідженнях не висвітлено конструкції обладнання, яким можна забезпечити запропоновані способи переробки пластикових відходів.

У [5—7] досліджуються вплив пластикових відходів як токсичного матеріалу на людей, представників фауни та флори. За результатами таких досліджень автори порівнюють ефективність різних способів переробки використаної пластикової упаковки. Слід зазначити, що запропоновані рішення переробки пластикової упаковки мають спільну технологічну операцію — сортування за видом матеріалу. В [8; 9] розглянуто технічні й технологічні характеристики обладнання для переробки пластикової упаковки, розкриті нові конструкції окремих механізмів і пристроїв. Однак запропоновані конструкції механізмів сортування не відповідають вимогам сьогодення щодо інформативності маркування, ефективності та якості таких процесів.

Мета статті: полягає в розробленні, виготовленні та дослідженні характеристик пристрою для визначення матеріалу пластикових пляшок з використанням QR-коду.

Матеріали і методи: аналіз і наукове узагальнення літературних джерел, у яких висвітлюються зазначенні питання; чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії. Результати теоретичних і експериментальних досліджень оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Викладення основних результатів дослідження. Традиційно сортування пластикових пляшок здійснюється двома способами: ручним та автоматичним. Ручне сортування дає змогу забезпечити високу якість отримання однорідної вторинної сировини, однак цей спосіб малопродуктивний. Автоматичне сортування засноване на застосуванні сенсорів, які отримують дані про фізичні або хімічні властивості використаної пластикової упаковки. Найбільш поширеними є два типи автоматичних сортувальних систем: сортування за кольором, засноване на ефекті поляризації видимого світла, яке проходить крізь пластикову пляшку, та сортування за матеріалом, засноване на ефекті спектрального аналізу. В особливу групу обладнання для сортування за матеріалом можна віднести пристрої для читання петлі Мебіуса, яка містить закодовану інформацію про матеріал пластику.

Основними недоліками перерахованих способів є непостійна якість сортування, яка суттєво залежить від стану використаної пластикової пляшки, впливу зовнішніх факторів на технологічний процес і, безперечно, недостатня інформативність отриманих результатів.

Автори дослідження пропонують запровадити нову філософію маркування пластикових пляшок, яка базується на використанні QR-коду замість петлі Мебіуса. Головною перевагою QR-коду над петлею Мебіуса є можливість простого та швидкого сканування й зберігання великого обсягу інформації, що кодується. QR-код може бути нанесений у будь-якому місці пляшки. За термінологічним визначенням QR — це скорочення від Quick Response, що означає «швидкий відгук». Головною перевагою QR-коду над звичайним штрих-кодом та петлею Мебіуса є можливість простого та швидкого сканування й зберігання великого обсягу інформації, що кодується.

Нанесення зображення QR-коду на поверхню ПЕТ-пляшки можна виконувати за допомогою лазерних технологій, наприклад, у форматі JPG (рис. 1).



Рис. 1. Зразки пляшок з QR-кодом

Зчитування QR-коду можливе за умови використання камер технічного зору. Робота камери передбачає сканування площини, на якій знаходиться QR-код, з подальшою передачею інформація через цифрову систему керування.

Для визначення швидкодії сканування QR- коду камерою технічного зору була розроблена математична модель для визначення впливу зовнішніх факторів на формування зображень у системах зчитування коду (рис. 2).

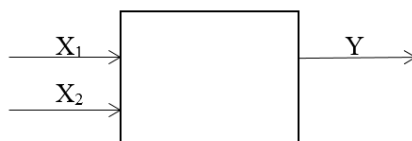


Рис. 2. Вплив зовнішніх факторів на формування зображень у системах зчитування коду: x_1 (l_1) — відстань від пляшки до камери, мм; x_2 (l_2) — розмір QR-коду, мм; Y — час зчитування камерою QR-коду, с

У наведеній математичній моделі розглядається залежність часу обробки зображення від дискретизації формування відліків, які після амплітудного квантування фіксуються камерою технічного зору.

Безперервним статичним зображенням для читання QR-коду в першому наближенні є функція часу і двох просторових координат:

$$f = f(x, y, t), \quad (1)$$

де t — час; x, y — просторові координати розподілу енергії джерела світлового випромінювання на QR-код.

Час читання інформації із зображення QR-коду має обмежену тривалість:

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max}, \quad (2)$$

де t_{\min}, t_{\max} — час початку і закінчення спостереження.

У разі руху пластикової пляшки час сканування інформації збільшується на величину пошуку зображення. Читання безперервного динамічного зображення QR-коду в першому наближенні залежить від просторових координат і часу пошуку:

$$f(x, y, t) \rightarrow g_{\tau}(m, n, \tau), \quad (3)$$

де τ — час, що минув з моменту початку спостереження. Тоді $t = \tau + t_{\min}$. За рівномірного відліку часових інтервалів з кроком Δ_{τ} отримано:

$$\tau = k\Delta_{\tau}, \quad (4)$$

де k — ціле число в діапазоні

$$0 \leq k \leq K - 1, \quad (5)$$

де K — кількість кадрів зображення. Очевидно, що:

$$K = \frac{t_{\min} - t_{\max}}{\Delta_{\tau}}. \quad (6)$$

Тоді дискретне динамічне зображення вважається функцією яскравості за умови:

$$g_{\tau} = g_{\tau}(m, n, \tau). \quad (7)$$

Для перевірки адекватності теоретичних результатів математичних моделей реальним процесам була розроблена і виготовлена експериментальна установка (рис. 3, а, б).

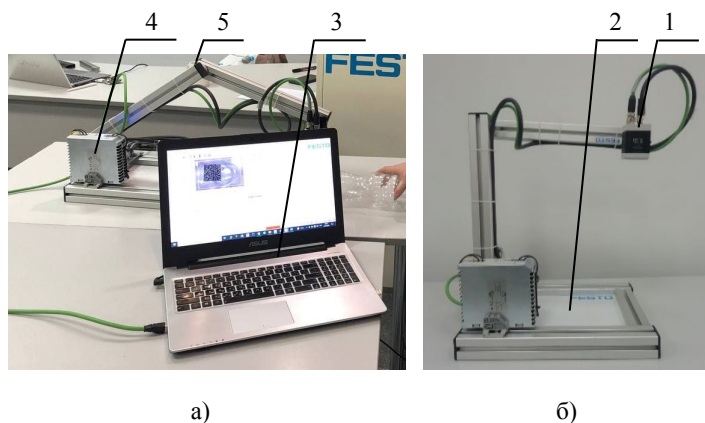


Рис. 3, а, б. Експериментальна установка для сортування використаних пластикових пляшок за допомогою «технічного» зору: 1 — платформа установки; 2 — камера SBSI-B компанії «Festo»; 3 — комп’ютер; 4 — електрична система керування; 5 — регулятор розташування камери

Робота експериментальної установки заснована на принципі сканування QR-коду засобами технічного зору шляхом використання цифрових пристроїв та інтелектуальної камери, які керуються програмним забезпеченням обробки зображень. В основу експерименту покладено сканування камерою SBSI-B компанії «Festo» (рис. 4).



Рис. 4. Розміщення камери відносно пляшки

Інформація зі сканованого QR-коду з камери надходила в контролер, розшифровувалась і разом з технічними характеристиками процесу обробки інформації виводилась на екран комп’ютера (рис. 5).

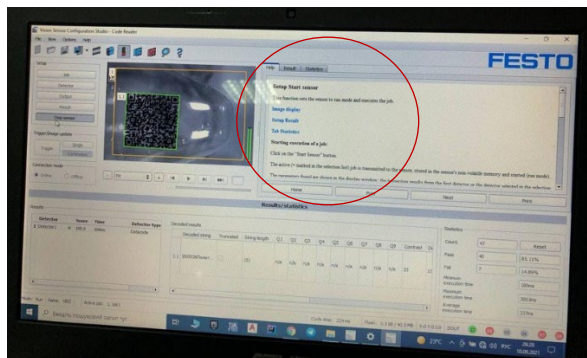


Рис. 5. Розшифрована інформація з QR-коду, зображення відсканованої ділянки пляшки і технічні характеристики процесу обробки зображення на екрані монітора

Для досліджень був розроблений і проведений багатofакторний експеримент, матриця якого показана в табл. 1.

Таблиця 1. Матриця проведення багатofакторного експерименту

| № | N_2 | N_1 | z_1 | z_2 | z_1z_2 | y_1 | y_2 | y_3 | \bar{y} |
|---|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-----------|
| 1 | 2 | 1 | + | + | + | 271 | 274 | 270 | 272 |
| 2 | 3 | 2 | - | + | - | 223 | 227 | 228 | 226 |
| 3 | 1 | 4 | + | - | - | 186 | 181 | 183 | 183 |
| 4 | 4 | 3 | - | - | + | 224 | 229 | 222 | 225 |

Результати аналітичних та експериментальних досліджень часу обробки зображення камерою QR-коду пляшки залежно від основних параметрів процесу представлено у вигляді:

$$t = 226,694 + 4,412l_2 - 0,0088l_1 + 0,176l_1l_2, \quad (8)$$

де t — часу обробки зображення, с; $x_1(l_1)$ — відстань від пляшки до камери, мм; $x_2(l_2)$ — розмір QR-коду, мм.

Встановлено, що на час обробки зображення QR-коду камерою SBSI-B компанії «Festo» суттєво впливає відстань від камери до об'єкта сканування.

Висновки. Запропонований комплекс технічних рішень дає змогу автоматично збирати інформацію з кожної використаної пластикової упаковки під час її сортування та заносити в створену загальну електронну систему обліку. Отримана інформація містила дату виготовлення пластикового виробу, тип полімерного матеріалу, колір, об'єм (розмір), назву компанії-виробника та індивідуальний код виробу.

Такий підхід — це перші кроки до створення загальнодержавної системи обліку кожної пластикової упаковки, починаючи з етапу виготовлення та закінчуючи етапом переробки, яка забезпечить можливість відслідковувати та аналізувати тенденції виготовлення та переробки пластикової упаковки за виробниками.

Основною перевагою наукової розробки є впровадження системи сортування використаної пластикової упаковки, яка може швидко переналагоджуватися згідно з отриманою інформацією, наприклад, за назвами компанії-виробників продукції або за видом матеріалу чи об'єму упаковки. Запропоновані технічні ідеї дадуть поштовх до створення нового покоління обладнання для сортування використаних пластикових упаковок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рахимов М. А. Проблемы утилизации полимерных отходов / М. А. Рахимов, Г. М. Рахимова, Е. М. Иманов // *Фундаментальные исследования*. — 2014. — № 8—2. — С. 331—334.
2. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs) / К. Pivnenko [et al.] // *Waste Management*. — 2017. — Vol. 69. — P. 101—109. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>.
3. Pellow D. N., Park L., Garbage S.-H. Wars: The Struggle for Environmental Justice in Chicago. Cambridge, MIT Press, 2004. 256 p.
4. Knoblauch J. A. The environmental toll of plastics. *Environmental Health News*, 2009. Available at: <https://www.ehn.org/plastic-environmental-impact-2501923191.html>.
5. Rakhimov M. A., Rakhimova G. M., Imanov E. M. Problems of recycling polymer wastes. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*, 2014, no. 8—2, pp. 331—334.
6. Gruchlik Y., Linge K., Joll C. Removal of organic micropollutants in waste stabilization ponds: a review. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 206, pp. 202—214. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.10.020.
7. Оценка экологической безопасности термопластичных материалов на основе линейных полимеров / В. П. Дмитренко [и др.] // *Экология промышленного производства*. — 2018. — № 1(101). — С. 52—59.

8. Pivnenko K., Granby K., Eriksson E., Astrup T. F. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs). *Waste Management*, 2017, vol. 69, pp. 101—109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.038>.

9. Якимчук М. В. Дослідження процесу аеросепарації в лініях сортування використаної упаковки / М.В. Якимчук С. Іванченко, В. Кунчій // Програма і матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 5—6 квітня 2017 р. — К.: НУХТ, 2017 р. — Ч. 2. — 114 с.

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПЛАСТИКОВЫХ БУТЫЛОК В ЛИНИЯХ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

А. А. Харкевич, Н. В. Якимчук, Т. С. Якимчук, В. Н. Якимчук

Национальный университет пищевых технологий

Основным преимуществом предлагаемых решений является внедрение системы сортировки использованной пластиковой упаковки, которая может быстро перенастраиваться в соответствии с полученной информацией, например, по названиям компаний-производителей данной продукции или по виду материала, объема упаковки. В основу научной разработки положена концепция использования маркировки пластикового изделия — QR-кода. Отличительной особенностью такого принципа является использование QR-кода как средства маркировки с расширенными информационными возможностями.

Практическая ценность работы — создание новой конструкции устройства для чтения информации с поверхности использованного пластикового изделия во время его сортировки.

Ключевые слова: *пластиковая бутылка, переработка, QR-код, петля Мебиуса.*

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 **вчитаних** роздрукувань 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

Олександр Миколайович Гавва

Відповідальний секретар журналу: кандидат технічних наук, доцент

Анастасія Василівна Деренівська

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-45, внутрішній — 92-45

E-mail: foodpromnuft@gmail.com

Наукове видання

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№ 30

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: О. М. Гавва

Відповідальний секретар: А. В. Деренівська

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