



НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

26

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Харчова **ПРОМИСЛОВІСТЬ**

Заснований у 1965 р.

Київ НУХТ 2019

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 # 241 from March 9, 2016) 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 № 241 від 09.03.2016) та категорію «Б» (Накази МОН України № 612 від 07.05.2019 р. та № 975 від 11.07.2019, за спеціальностями 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Харчова промисловість» індексується такими наукометричними базами:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Статті друкуються в авторській редакції.

Editorial office address:

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

Адреса редакції:

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

Recommended for publication by the
Academic Council of the National University of
Food Technologies.
Minutes of meeting № 5 of
December 12, 2019

Рекомендовано вченою радою
Національного університету харчових
технологій.
Протокол № 5 від 12 грудня 2019 року

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу «Харчова промисловість»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Анатолій Соколенко
Anatoliy Sokolenko

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

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Сергій Токарчук
Serhiy Tokarchuk

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

Члени редакційної колегії:

Іван Шило
Ivan Shylo

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

Станка Дамянова
Stanka Damyanova

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

Стефан Стефанова
Stefan Stefanov

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

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

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

Тетяна Пирог
Tetyana Pyroh

д-р біол. 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

Лариса Арсеньєва
Larysa Arsen'yeva

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

Тамара Носенко
Tamara Nosenko

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

Віра Оболкіна
Vera Obolkina

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

Віктор Ємцев
Viktor Yemtsev

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

Віра Юрчак
Vira Yurchak

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

Людмила Пешук
Lyudmyla Peshuk

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

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

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

Віталій Прибильський
Vitaliy Prybyl's'kyu

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

Галина Сімахіна
Halya Simakhina

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

Олена Грабовська
Olena Hrabov's'ka

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

Олександр Гавва
Oleksandr Gavva

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

Микола Якимчук
Mykola Yakymchuk

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

Віктор Стабніков
Viktor Stabnikov

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

Андрій Маринін
Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. співр., Україна
Ph. D., Senior Research Officer, 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

Світлана Літвинчук
Svitlana Litvynchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D., As. 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

Василь Кишенько
Vasil Kyshenko

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

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ**Сировина та матеріали**

Дробот В. І., Сорочинська Ю. С., Бондаренко Ю. В., Ренкас О. І. Використання шроту насіння гарбуза в технології безглютенового хліба

Миколенко С. Ю., Тимчак Д. О. Вплив технологічних факторів на поп-властивості зерна сорго

Кізіон Г. О., Міщенко О. С., Можаровська А. А., Олійник С. І. Розроблення нормативів гранично-допустимих втрат спирту етилового під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки

Мількевич В. М. Збереження технологічних якостей цукрових буряків під час збирання і зберігання — запорука одержання цукру високих категорій якості

Писків С. І., Кухтин М. Д. Вплив природного сквашування сирого молока та заквасочних культур при виготовленні йогурту і сметани на процес денітрифікації

Технології: дослідження, застосування та впровадження

Рубанка К. В., Терлецька В. А. Дослідження впливу крохмалю на структурно-механічні властивості тіста у виробництві кукурудзяних снеків

Полумбрік М. М., Пасічний В. М., Хорунжа Т. О., Мороз О. О. Дослідження мікробіологічної стабільності пастеризованих сосисок з використанням гемового заліза

Лаптенок Н. С., Тумар Е. М., Лапцевич В. В., Мельникова Л. А. Біологічні дослідження спеціалізованих екструзійних продуктів для вагітних і жінок-годувальниць

Бендерська О. В., Бессараб О. С., Шутюк В. В. Дослідження структурно-механічних властивостей томатних соусів

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ**Процеси харчових виробництв**

Негрей О. В., Українець А. І. Дослідження процесів руйнування оболонок волоських горіхів

Паценко Б. С., Литвиненко О. А., Штефан С. В. Комп'ютерне моделювання деформації керамічної мембрани в процесі ультрафільтрації харчових середовищ

Шевченко О. Ю., Бедрік О. В., Малета В. М. Моделювання розподілу процентного складу етанолу по тарілках колони концентрації домішок

Обладнання та устаткування

Скиба М. Є., Стечишина Н. М. Корозійно-механічна зносостійкість деталей обладнання молокозаводів

SECTION 1. TECHNOLOGY**Raw Materials and Materials**

7 Drobot V., Sorochynska Yu., Bondarenko Yu., Renkas O. Use of pumpkinseed meal in the technology of gluten-free bread

14 Mykolenko S., Tymchak D. Technological factors affecting popping properties of sorghum grain

22 Kyziun G., Mishchenko O., Mozharovska A., Oliynyk S. Development of standards for maximum allowable alcohol losses in the production of alcohol-containing products from a mash

28 Mil'kevych V. Preservation of technological qualities of sugar beet during harvesting and storage of sugar beet is the key for obtaining sugar of high quality categories

36 Pyskiv S., Kukhtyn M. The influence of natural fermentation of raw milk and the starter cultures used in the yogurt and in the sour cream production on the denitrification

Technologies: Researches, Application and Introduction

43 Rubanka K., Terletska V. Research of the influence of starch on the structural and mechanical properties of the dough in the production of corn snacks

50 Polumbryk M., Pasichnyi V., Khorunzha T., Moroz O. Research of microbiological stability of pasterized sausage with hem iron

57 Laptенок N., Tumar E., Laptsevich V., Melnikova L. Specialized extrusion products for pregnant and lactating women and their biological studies

64 Benderska O., Bessarab A., Shutiuk V. Research of structural-mechanical properties of tomato sauce

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT**Processes of Food Industries**

71 Negrey O., Ukrainets A. Investigation of the processes of destruction of the walnut shells

80 Pashchenko B., Litvinenko O. Shtefan E. The promising materials for the filtration membranes of the food industry

89 Shevchenko O., Bedryk O., Maleta V. Modeling of the distribution of percentage of ethanol composition over the plates of the impurities concentration column

Machinery and Equipment

97 Skyba M., Stechyshyna N. Corrosion-mechanical durability of details of equipment of dairies

-
- Шпак М. С., Литовченко О. І., Чепелюк О. О. Данилейчук О. В.* Обґрунтування ефективної конструкції робочих органів тістомісильних машин 107 *Shpak M., Litovchenko O., Chepeliuk O., Dany-leichuk O.* Substantiation the effective construction of working members of dough kneeding machines
- Пакування: розробка, дослідження, переробка**
Васильківський К. В., Максименко І. Ф., Костюк В. С. Тертя в транспортних системах 116 *Wasytkivsky K., Maxymenko I., Kostyuk V.* Rubber in transport systems
- Керування виробничими процесами**
Євтушенко О. В., Сірик А. О. Аналіз причин, наслідків та обставин виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості 127 *Evtushenko O., Siryk A.* Analysis of cause, consequences and circumstances of manufacturing injury in food industry enterprises
- Енергетика та виробничі процеси**
Сінат-Радченко Д. Є., Іващенко Н. В., Василенко С. М. Тепловіддача за вимушеного руху води в трубах, каналах і вздовж плоскої стінки 133 *Sinat-Radchenko D., Ivashchenko N., Vasilenko S.* Thermal distribution in forced movement of water in pipes, channels and along the flat wall
- Соколенко А. І., Степанець О. І., Бойко О. О.* Енергетичні трансформації в механічних системах 139 *Sokolenko A., Stepanets O., Boyko O.* Energy transformations in mechanical systems
- Power engineering and productions**

УДК 664.64

USE OF PUMPKINSEED MEAL IN THE TECHNOLOGY OF GLUTEN-FREE BREAD

V. Drobot, Yu. Sorochynska, Yu. Bondarenko, O. Renkas*National University of Food Technologies*

Key words:

gluten-free bread,
starch-sorghum mixture,
pumpkin seedmeal,
enrichment with food fiber

Article history:

Received 09.09.2019
Received in revised form
15.10.2019
Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

bjuly@ukr.net

ABSTRACT

The paper describes physiological role of food fiber (FF) in the human body, shows norms and daily needs established abroad and in Ukraine. The lack of FF content in traditional bread and almost the absence of gluten-free products have been emphasized. Attention is paid to the prospect of using sorghum flour in the technology of these products and the pumpkin seed meal as a carrier of food fiber. The aim of this work was to determine the expediency of using the pumpkin seed meal in the technology of gluten-free products from the starch-sorghum mixture and to determine the impact of this raw material on the course of the technological process and product quality.

By comparing the chemical composition of sorghum flour and pumpkin seed meal (PSM), the ability of PSM to supplement products from starch-sorghum mixtures with physiologically active ingredients has been demonstrated. It has been proved by baking that the use of PSM in the dough with starch-sorghum mixture increases the acidity of the dough by 0.1...0.6 degrees, prolongs the duration of the dough baking, decreases the specific volume of bread, increases preservation of fresh products. It has been proved that this is a consequence of changes in the basic processes in bread technology with the addition of PSM. The fermentation processes are intensified in the dough with PSM, emission of carbon dioxide is released due to the improved nutrient composition for its microflora, and the activity of amylolysis is intensified. At the same time, due to the high water absorption capacity of the PSM, viscosity of the dough increases and gas-holding capacity reduces, which impedes the development of the volume of dough and bread. It has been established that in order to ensure good quality of bread, the optimal amount of PSM is 4...6% by weight of flour. Such amount of PSM provides 16...20% of the established daily requirement in dietary fibers for organism.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-3

ВИКОРИСТАННЯ ШРОТУ НАСІННЯ ГАРБУЗА В ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА

В. І. Дробот, д-р. техн. наук

Ю. С. Сорочинська, аспірант

Ю. В. Бондаренко, канд. техн. наук

О. І. Ренкас, магістрант

Національний університет харчових технологій

У статті відображено фізіологічну роль харчових волокон (ХВ) в організмі людини, наведено норми і добову потребу, встановлені за кордоном та в Україні. Підкреслено недостатність вмісту ХВ у традиційному хлібі та майже відсутність у безглютенових виробах. Звернено увагу на перспективність використання соргового борошна в технології цих виробів і шроту насіння гарбуза як носія харчових волокон. За результатами пробних випікань доведено, що за використання ШНГ у тісті з крохмале-соргової суміші на 0,1...0,6 град підвищується кислотність тіста, дещо подовжується тривалість вистоювання тістових заготовок, знижується питомий об'єм хліба, проте підвищується збереження виробами свіжості. Доведено, що це є наслідком змін у перебігу основних процесів у технології хліба за додавання ШНГ. Встановлено, що для забезпечення хорошої якості хліба оптимальною кількістю додавання в тісто ШНГ є 4...6% до маси борошна. Така кількість ШНГ забезпечує 16...20% установлені добової потреби організму в харчових волокнах.

Ключові слова: безглютеновий хліб, крохмале-соргова суміш, шрот насіння гарбуза, збагачення харчовими волокнами.

Постановка проблеми. Загальновизнаною умовою збереження здоров'я є оптимально збалансоване харчування, забезпечення раціоном харчування добової потреби організму в фізіологічно необхідних інгредієнтах, серед яких важливе місце посідають харчові волокна (ХВ).

Фізіологічні властивості ХВ полягають передусім у нормалізації роботи шлунково-кишкового тракту. Ці складові їжі в організмі людини проявляють пребіотичну дію. За їх присутності активується розвиток біфідобактерій, що оптимізує мікробіологічний статус організму [1]. ХВ уповільнюють швидкість всмоктування з кишечника глюкози. Це нормалізує рівень цукру в крові, знижують рівень холестерину. Маючи адсорбційні властивості, ХВ зв'язують і виводять з організму жовчні кислоти й токсини [2].

Як стверджує англійський хірург Burkitt, регулярне споживання ХВ запобігає розвитку майже всіх хвороб цивілізації — захворювання кишечника, ожиріння, діабет, хвороби серця тощо [3].

У більшості західноєвропейських країн комітети національного харчування рекомендують дорослим щоденно вживати 25—35 г харчових волокон.

Департаментом харчування при Академії наук США (The food Nutrition Board of National Academy — FNB) встановлено фізіологічну добову потребу людини в ХВ — 25—38 г. МОЗ України встановлено добову потребу в цих речовинах — 25 г [3]. На цей час реально середньостатистичний європеець вживає їх не більш як 10—12 г. Це менше половини рекомендованої кількості. Низька кількість ХВ у раціоні харчування обумовлена зростанням виробництва рафінованих продуктів.

На думку фізіологів, хлібобулочні вироби тільки в певній мірі є джерелом ХВ, оскільки вміст їх у цих виробках недостатній. У 100 г хліба з пшеничного борошна їх всього 2,6...4,0%, залежно від сорту борошна, у виробках з безглютенової сировини ці речовини майже відсутні.

Для збагачення традиційних хлібобулочних виробів ХВ використовують цільнозернове борошно, висівки, шроти олійної та клітковину овочевої сировини. Даних щодо цілеспрямованого збагачення харчовими волокнами безглютенових виробів у наукових джерелах обмаль.

Відомо використання рисового, кукурудзяного та деяких інших видів безглютенового борошна з метою збільшення вмісту функціональних інгредієнтів у безглютенових виробках, але при цьому вміст харчових волокон у цих виробках становить всього 0,1—0,38 г.

Встановлено доцільність використання з цією метою соргового борошна в суміші з крохмалю — 30% від маси суміші [4], зважаючи на те, що вміст ХВ в цьому борошні більший, ніж у рисовому та кукурудзяному, в 2,3 та 2,6 рази відповідно. Однак за вмісту 30% соргового борошна у цій суміші кількість ХВ у 100 г хліба, виготовленого з неї, становитиме тільки 1,9%, що свідчить про необхідність включення до їх рецептури сировини, здатної збільшити вміст ХВ у хлібі.

Фізіологи стверджують, що хворим на целиацію необхідні вироби і з сировини, що містить речовини з широким спектром терапевтичної дії. Такою сировиною може бути шрот насіння гарбуза (ШНГ) — сировина, нетрадиційна для хлібопечення. Однак при використанні нетрадиційної сировини слід зважати на її технологічні властивості та її вплив на якість готової продукції.

Метою дослідження є визначення доцільності використання ШНГ у технології безглютенових виробів з крохмале-соргової суміші для збагачення їх фізіологічно активними речовинами, зокрема харчовими волокнами, та встановлення впливу цієї сировини на перебіг технологічного процесу і якість виробів.

Матеріали і методи. Під час проведення досліджень використовували кукурудзяний і картопляний крохмалі за ДСТУ 3976-2000 і ДСТУ 4286:2004, цільнозернове борошно сорго ТОВ «Аспарагус-ЛТД», суміш структуроутворювачів у складі камеді гуару E412 і ГПМЦ E464 у співвідношенні 60:40, цукор білий кристалічний, дріжджі пресовані, сіль кухонну.

За проведення пробних випікань тісто готували безопарним способом без бродиння; замішували в лабораторній тістомісильній машині Escher. Вистоювання тістових заготовок відбувалося у шафі за температури $(35\pm 2)^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості 75...78%. Випікали в печі Sveba-Dahlen.

Параметри технологічного процесу та фізико-хімічні показники якості хліба визначали загальноприйнятими методами [5]. Газоутворення в тісті визначали на приладі АГ-1, вміст цукрів у тісті — йодометричним методом, газоутримувальну здатність тіста — за зміною питомого об'єму тіста. В'язкість тіста характеризували за розпливанням кульки тіста та умовною напругою зсуву за використання приладу АП-4.

Результати досліджень. Аналіз хімічного складу борошна сорго та ШНГ показав, що шрот насіння гарбуза має більш цінний хімічний склад (табл. 1), містить більше білка майже в 4 рази, харчових волокон — у 5,1 рази, жирів — утричі. В його складі містяться каротиноїди, що мають антиоксидантні властивості та є онкопротекторами.

Таблиця 1. Хімічний склад шроту насіння гарбуза та борошна сорго, %

Складові	Соргове борошно	Шрот насіння гарбуза
Білок	10,8	43,7
Жири	3,1	9,8
Вуглеводи загальні	76,2	38,9
Харчові волокна	6,53	33,1
Моно- і дицукри	0,9	2,2
Масова частка вологи	9,0	7,5
Харчові кислоти у перерахунку на молочну кислоту	3,6	4,5

Крім того, ШНГ багатий, порівняно з борошном сорго, на вітаміни β -каротин, B1, B2, PP та мінеральні речовини — Ca, K, Mg, P.

Отже, шрот насіння гарбуза, за умови включення його до рецептури виробів з крохмале-соргової суміші здатний збагатити ці вироби харчовими волокнами, білком та іншими складовими.

Визначення впливу ШНГ на показники технологічного процесу та якості хліба визначали пробними випіканнями. Готували зразки тіста за рецептурою, кг: крохмале-соргова суміш — 100; дріжджі пресовані — 3,0; сіль кухонна — 2,0; цукор білий — 5,0; олія кукурудзяна — 3,0; структуроутворювач — 1,0. ШНГ вносили під час замішування тіста в кількості 4,0; 6,0; 8,0% до маси крохмале-соргової суміші. ШНГ, який використовували у дослідженнях, мав крупність, як у цільозернового борошна сорго. Контрольним був зразок без додання ШНГ.

Встановлено (табл. 2), що за включення до рецептури ШНГ початкова кислотність тіста збільшується на 0,2 — 0,8 град за рахунок кислот, внесених у тісто з ШНГ. Накопичення кислот за час ферментації відбувається практично однаково у всіх зразках. В кінці бродіння показник рН дослідних зразків був нижчим, ніж у контролі, внаслідок буферних властивостей білків ШНГ.

Таблиця 2. Показники технологічного процесу та якості виробів з ШНГ

Показники	Контроль	Додано шроту насіння гарбуза, % до маси крохмале-соргової суміші		
		4	6	8
1	2	3	4	5
Тісто				
Масова частка вологи, %	51,0	50,5	51,2	50,8
Кислотність, град.				
початкова	1,3	1,5	1,8	2,2
кінцева	1,5	1,6	2,0	2,4
рН в кінці бродіння тіста	6,0	5,8	5,7	5,6
Тривалість вистоювання, хв	60	62	64	67
Хліб				
Питомий об'єм, см ³ /100 г	320	304	295	287
Кислотність, град	1,4	1,4	1,5	1,6
Деформація м'якушки, од. пенетрометра, через:				
1 год	66	68	70	67
24 год	54	57	58	55
Збереження свіжості, %	36	39	41	36
Кришкуватість, %	3,1	2,9	2,7	2,4

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4	5
Стан поверхні та забарвлення	Гладка, світла	Опукла, з невеликими тріщинами, світло-кремова		Гладка, з тріщинами, темно-коричнева
Колір м'якушки	Світла	Світло-кремова		Виражена кремова
Стан м'якушки	Еластична			Менш еластична
Структура пористості	Середня, рівномірна, тонкостінна	Достатньо рівномірна, тонкостінна		Дрібна, товстостінна
Смак і аромат	Притаманий цьому виду хліба	Незначно виражений присмак гарбуза	Присмний гарбузовий присмак	Більш виражений гарбузовий присмак

Тривалість вистоювання тістових заготовок подовжувалася на 2—7 хв. Це може бути пов'язано зі збільшенням в тісті харчових волокон, що зумовлює покращання стабільності піноподібної структури тіста, очевидно внаслідок включення ХВ у систему, що утворена складовими крохмале-соргової суміші та структуроутворювача.

Питомий об'єм хліба зменшується на 5,0—11,0%. За додання в тісто 4 та 6% ШПГ формується дрібна й тонкостінна пористість м'якушки, що сприяє покращанню її еластичності. У разі внесення 8,0% ШНГ стінки пор м'якушки потовщуються, знижується еластичність.

Оскільки об'єм хліба і стан м'якушки залежать від інтенсивності бродіння тіста, активності дріжджової мікрофлори, перебігу біохімічних процесів і реологічних властивостей тіста, досліджували вплив ШНГ на ці фактори.

Активність дріжджової мікрофлори за наявності ШНГ характеризували показником газоутворення в тісті за 60 хв ферментації (середня тривалість вистоювання тістових заготовок).

Встановлено (табл. 3), що за цей час у зразках тіста з ШНГ виділяється більше діоксиду вуглецю на 9,5—16,0% порівняно з контролем. Це пов'язано з покращанням живлення дріжджової мікрофлори внаслідок збагачення рідкої фази тіста водорозчинними білками, вітамінами та мікроелементами ШНГ, незначною кількістю цукрів, що утворюються в тісті внаслідок амілолізу.

Визначенням динаміки цукрів у тісті встановлено, що у дослідних зразках зі ШНГ утворилося цукрів більше на 2,3—3,8%. Очевидно, внаслідок активізації амілолітичних ферментів борошна сорго, що обумовлено підвищенням кислотності цих зразків.

Вплив шроту насіння гарбуза на реологічні властивості тіста характеризували за зміною його питомого об'єму в процесі ферментації, розпливанням кульки тіста та показником умовно граничної напруги зсуву за пенетрометром АП-4.

Встановлено, що тісто з ШНГ, порівняно з контролем, мало менший питомий об'єм на 7—10%, що, очевидно, пов'язано з підвищенням його в'язкості внаслідок більшої водопоглинальної здатності ШНГ (330%), порівняно зі складовими крохмале-соргової суміші (крохмаль 169%, борошно сорго 20%). Це корелює зі зменшенням розпливання кульки тіста зі ШНГ.

Таблиця 3. Характеристика процесів у тістовій системі

Показники	Контроль	Внесено шроту насіння гарбуза, %		
		4	6	8
Газоутворення за 60 хв ферментації тіста, см ³ /100 г	275	301	320	322
Динаміка вмісту цукрів у тісті, % на СР:				
утворено	0,17	0,19	0,21	0,24
зброджено	1,14	1,18	1,21	1,23
Питомий об'єм тіста, см ³ /100 г	214	210	202	192
Розпливання кульки тіста, % до початкового діаметра	118	116	115	113
В'язкість тіста за умовно граничною напругою зсуву, Па	21,6	22,3	22,9	23,4

Збільшення в'язкості безглютенового тіста зі ШНГ за відсутності еластичності призводить до зменшення його газоутримувальної здатності, затримує розвиток об'єму та подовжує тривалість вистоювання тістових заготовок.

Менша газоутримувальна здатність тіста зі ШНГ за незначної інтенсифікації в ньому газоутворення зумовлює менший об'єм зразків зі ШНГ на 5,0...7,0%, порівняно з контролем. Поряд з цим, за внесення до рецептури виробів ШНГ покращується забарвлення скоринки хліба, м'якушка набуває кремового відтінку, хліб має приємний смак із присмаком гарбуза.

Слід зазначити, що зразки хліба із ШНГ краще зберігають свіжість. Це підтверджується результатами визначення деформації м'якушки хліба та його кришкуватості.

Кращі органолептичні та фізико-хімічні показники якості мали зразки хліба з включенням до рецептури 4—6% ШНГ.

Висновки. На основі результатів дослідження можна стверджувати, що з для покращання фізіологічної цінності безглютенових хлібобулочних виробів з крохмале-соргової суміші доцільно включати до їх рецептури 4—6% шроту насіння гарбуза до маси суміші. Така кількість забезпечує вміст харчових волокон у хлібі, за добової норми його споживання 277 г покриває 16—20% встановленої в Україні добової потреби в цих речовинах.

Впровадження у виробництво безглютенових хлібобулочних виробів, збагачених шротом насіння гарбуза, дасть змогу розширити асортимент і сприятиме покращанню забезпечення фізіологічно активними речовинами хворих на целиацію та інших споживачів безглютенових продуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міхесенко О. І. Основи раціонального оздоровчого харчування. — С.: Університетська книга, 2014. — 184 с.
2. Matran I. M. The role of hemp seed derivatives bakery, related to the ratio of essential polyunsaturated fatty acids omega 3 and omega 6, cold pressed hemp oil, complete protein and fibers / I. M. Matran // Rompan news. — 2009. — Vol. 15. — P. 263—270.
3. Грищенко А. М. Удосконалення технології хліба з безглютеновою сировиною: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2011, НУХТ, Київ.
4. Дробот В. І. Борошно сорго у технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, Ю. С. Приходько, Г. О. Бережна // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2019. — Т. 25, № 1. — С. 208—214.

5. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва: навч. посіб. / [В. І. Дробот, Л. Ю. Арсеньєва, О. А. Білик та ін.]; за ред. В. І. Дробот. — К.: Центр навчальної літератури, 2006. — 341 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШРОТА СЕМЯН ТЫКВЫ В ТЕХНОЛОГИИ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБА

В. И. Дробот, Ю. И. Сорочинская, Ю. В. Бондаренко, О. И. Ренкас

Национальный университет пищевых технологий

В статье отражено физиологическую роль пищевых волокон (ПВ) в организме человека, приведены нормы и суточная потребность, установленные за рубежом и в Украине. Подчеркнуто недостаточность содержания ПВ в традиционном хлебе и почти отсутствие в безглютеновых изделиях. Обращено внимание на перспективность использования сорговой муки в технологии этих изделий и шрота семян тыквы как носителя пищевых волокон. По результатам пробных выпечек доказано, что при использовании шрота семян тыквы в тесте с крахмало-сорговой смесью на 0,1—0,6 град повышается кислотность теста, несколько увеличивается продолжительность расстойки тестовых заготовок, снижается удельный объем хлеба, однако продлевается сохранение изделиями свежести. Доказано, что это является следствием изменений в ходе основных процессов в технологии хлеба при внесении шрота семян тыквы. Установлено, что для обеспечения хорошего качества хлеба оптимальная дозировка в тесто шрота семян тыквы 4—6% к массе муки. Такое количество шрота семян тыквы обеспечивает 16—20% от установленной суточной потребности организма в пищевых волокнах.

Ключевые слова: безглютеновый хлеб, крахмало-сорговая смесь, шрот семян тыквы, обогащение пищевыми волокнами.

УДК 664.696.2

TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING POPPING PROPERTIES OF SORGHUM GRAIN

S. Mykolenko, D. Tymchak*Dnipro State Agrarian and Economic University***Key words:**

grain sorghum,
popped sorghum,
microwave treatment,
moisture conditioning,
popping properties,
analysis of variance

Article history:

Received 17.07.2019
Received in revised form
16.09.2019
Accepted 21.11.2019

Corresponding author:

svetlana.mykolenko@
gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to study of the influence of factors of ultrahigh-frequency processing on the quality of popped sorghum depending on the varietal characteristics of grain. The peculiarities of pop properties of seven sorghum varieties grown in Ukraine such as Lan, Dniprovsky, Smotrych, Fulgus, Zernove 1247, Samaran, Kafrske were determined. ANOVA showed the predominant influence of ultrahigh-frequency processing power on the popping yield of the sorghum grain, the degree of the influence of the factor depending on the grain variety is 55—92%. Minor but significant effect on the popping yield belonged to the grain moisture for the varieties “Dniprovsky”, “Kafrske”, “Samaran”.

The bulk density of the popped sorghum predominately depended on moisture content of the sorghum grain before ultrahigh-frequency treatment, which can be varied by pre-conditioning. This factor of processing is essential for the varieties Kafrske, Zernove 1247, Samaran, Lan, Smotrich (the degree of influence is 46—97%) and does not affect the bulk density of Fulgus and Dniprovsky. The factor of ultrahigh-frequency processing power affects the bulk density of popped sorghum reliably only for the varieties Kafrske and Samaran. Volume expansion ratio of the sorghum varieties turned out to be the most irresponsible to the influence of the studied processing factors. The exceptions were Fulgus and Dniprovsky, which volume expansion ratio was significantly affected by the moisture content of the grain before processing. The most sensitive sorghum varieties to adjusting the technological factors as moisture content and ultrahigh-frequency processing power are the following varieties, which are suitable for obtaining popped sorghum in order of decreasing the level of sensitivity: Samaran → Kafrske → Fulgus → Dniprovsky. Sorghum grain of such varieties is characterized by acceptable pop properties, which, under the condition of rationally selected technological parameters of processing, allows to recommend them for obtaining popped sorghum.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-4

© С. Ю. Миколенко, Д. О. Тимчак, 2019

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПОП-ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА СОРГО

С. Ю. Миколенко, канд. техн. наук

Д. О. Тимчак

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

У статті представлено дослідження впливу факторів надвисокочастотної обробки зерна сорго на якість цільнозернового повітряного продукту залежно від сортових особливостей зерна. Визначено особливості поп-властивостей зерна сортів сорго, вирощених в Україні, зокрема Лан, Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове 1247, Самаран, Кафрське. За допомогою дисперсійного двофакторного аналізу встановлено, що переважний вплив на вихід повітряного продукту має потужність надвисокочастотної обробки зерна сорго, ступінь впливу фактора залежно від сорту зерна становить 55—92%. До варіювання технологічних факторів найбільш чутливими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський. Зерно сорго таких сортів характеризується прийнятними поп-властивостями, що за умови раціонально підібраних технологічних параметрів обробки дає змогу рекомендувати їх для отримання повітряного сорго.

Ключові слова: зернове сорго, повітряне зерно, надвисокочастотна обробка, кондиціювання, технологічні властивості, дисперсійний аналіз.

Постановка проблеми. Зернове сорго є відмінною альтернативою ячменю та кукурудзі в умовах посушливого клімату півдня і сходу України, оскільки здатне забезпечувати стійкі високі врожаї [1]. Зерна певних сортів сорго можливо використовувати як сировину для отримання поп-продуктів, тобто повітряного зерна [2]. Ринок такого роду продуктів в Україні і світі поступово розширюється. На сьогодні досить актуальною є проблема створення ресурсозберезувальних технологій харчових продуктів. При цьому використання надвисокочастотної (НВЧ) обробки для виробництва повітряного зерна є перспективним технологічним рішенням, що надає можливість не лише суттєво скоротити технологічний процес, зменшити енергетичні витрати, але й уникнути утворення небажаних побічних продуктів, забезпечуючи отримання продукту з високими органолептичними характеристиками [3]. Ефективність технологічних процесів отримання харчової продукції зумовлена головним чином особливостями сировини, що використовується при виробництві, та параметрами і режимами обробки цієї сировини.

В Україні цільнозернове повітряне зерно виробляється із розлусної кукурудзи, що в більшості випадків імпортується з-за кордону. Зерно сорго для України є новим продуктом і перспективною сировиною для виробництва таких продуктів, як сухі сніданки, зернові батончики, кондитерські вироби. Виробництво вказаної продукції може бути забезпечено вітчизняною сировиною, наприклад, сортами зернового сорго, які культивуються на Синельниківській селекційно-дослідній станції ДУ «Інститут сільського господарства степової зони НААН України». Важливим є встановлення визначальних факторів, що впливають на якість повітряного сорго. До технологічних показників якості зерна, придатного для виробництва повітряного продукту, відносяться вихід повітряного зерна, об'ємна маса і коефіцієнт розширення зернівки.

Використання в технології повітряного сорго надвисокочастотного випромінювання є досить ефективним технологічним рішенням і дає змогу прискорити вироб-

ничий процес, знизити втрати енергоносіїв і сировини [4—6]. У працях [2; 7—10] досліджено особливості технологічних якостей зерна сорго як сировини для виробництва повітряного продукту, які суттєво коливаються залежно від сортових особливостей зернового сорго. Дані щодо особливостей технологічних якостей зернового сорго, придатного для виробництва повітряного зерна для сортів і гібридів, культивованих в Україні, відсутні, що унеможливило ефективне використання такої продовольчої сировини підприємствами харчової промисловості.

Мета статті: дослідження і аналіз впливу надвисокочастотної обробки зерна сорго на якість повітряного продукту залежно від сортових особливостей зерна.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження було використано сім сортів зерна сорго: Лан, Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове, Самаран, Кафрське, вирощених на Синельниківській селекційно-дослідній станції ДУ «Інститут сільськогосподарства степової зони НААН України». Фракційний склад зерна визначали просіюванням зерна крізь лабораторний набір сит з круглими отворами діаметром від 5 до 1 мм та зважуванням отриманих фракцій.

Вихід (%) повітряного зерна визначали як співвідношення кількості повітряного зерна, отриманого після обробки, до вихідної кількості зерна до обробки. Показник об'ємної маси (г/см^3) визначали як співвідношення маси повітряного зерна до його об'єму. Коефіцієнт розширення визначали як відношення об'єму повітряного зерна до об'єму зерна до обробки.

Для встановлення ступеня впливу регульованих факторів процесу НВЧ обробки зерна сорго для отримання повітряного продукту в експериментальних дослідженнях фактори варіювали в межах: вологість зерна сорго перед надвисокочастотною обробкою — 13—17%; потужність генератора надвисокочастотного випромінювання — 450—750 Вт. Тривалість обробки зерна сорго у серіях дослідів становила 150 хв. Результати попередніх досліджень [5] показали, що застосування більших або менших значень наведених параметрів процесу отримання повітряного зерна сорго шляхом НВЧ обробки є недоцільним через негативний вплив на якість кінцевого продукту і ефективність технологічного процесу.

Дисперсійний двофакторний аналіз було проведено з використанням пакета «Аналіз даних» у середовищі Microsoft Excel.

Результати досліджень. Сорти зернового сорго відрізняються за зовнішнім виглядом, анатомічною будовою та розмірами. Зерно досліджуваних сортів Фулгус, Зернове 1247, Самаран має коричневе забарвлення, сортів Дніпровський, Лан, Смотрич — світло-коричневе з темними плямами. Зерно сорту Кафрське відрізняється білим кольором зернівки. Крім того, всі досліджувані сорти мають різний фракційний склад (рис. 1).

Таблиця 1. Фракційний склад зерна сорго

Сорт	Фракції за розміром, %		
	Ø2 мм	Ø3 мм	Ø4 мм
Лан	0,1	26,5	73,4
Дніпровський	0,2	69,8	30,0
Смотрич	0,2	77,5	22,3
Фулгус	2,0	72,0	26,0
Зернове 1247	2,4	90,6	6,9
Самаран	4,6	94,8	0,6
Кафрське	14,5	83,7	1,8

Як видно з рис. 1, наведені сорти можна поділити на три групи: крупне сорго (Лан) з фракцією 5/4 понад 70%; середньої крупності (Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове, Самаран) з 70—95% фракції 4/3 і 0,6—30% фракції 5/4; дрібне сорго (Кафрське), що включає близько 15% фракції 3/2 та 84% зерна крупності 4/3. Слід відзначити, що більшість досліджуваних сортів і гібридів містять найбільшу частку фракції 4/3, при цьому вміст дрібного зерна 3/2 незначний і коливається в межах 0,1—4,6% (виняток – зерно сорго сорту Кафрське).

До основних технологічних показників якості зерна, придатного для виробництва повітряного продукту, відносяться вихід повітряного зерна, об'ємна маса та коефіцієнт розширення зернівки. Отримані результати аналізу якості повітряного зерна залежно від сорту за умови досягнення максимально прийнятного значення технологічного показника наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Показники якості повітряного зерна різних сортів

Сорт	Показник		
	Вихід, %	Об'ємна маса, г/см ³	Коефіцієнт розширення
Лан	38	48	7
Дніпровський	64	89	9
Смотрич	20	68	6
Фулгус	92	66	11
Зернове 1247	56	74	12
Самаран	74	63	13
Кафрське	61	95	15

Як видно з табл. 2, вихід повітряного зерна суттєво залежить від його особливостей і коливається в межах 38—92%, сягаючи максимальних значень для сортів сорго Фулгус, Самаран, Дніпровський. Об'ємна маса повітряного зерна становить від 48 (Лан) до 95 г/см³ (Кафрське). Коефіцієнт розширення зернівки залежно від сорту зерна варіює від 6 до 15, при цьому збільшення крупності зерна негативно позначається на цьому показнику. Для сортів зернового сорго Кафрське, Самаран, Зернове 1247, Фулгус характерні максимальні значення коефіцієнта розширення зернівки.

Визначені суттєві коливання технологічних якостей зерна залежно від сортових особливостей зернового сорго збігається з напрацюваннями індійських і американських вчених [12; 14; 15], де показано, що характеристики генотипу суттєво позначаються на технологічних показниках сорго, що зумовлюють його придатність до утворення повітряного продукту. У [15] окрему увагу приділяють і умовам вирощування сортів зернового сорго у штаті Техас, що позначається на виході продукту і на коефіцієнті розширення зернівки, проте уваги параметрам процесу конвективного нагрівання не приділяється. Для отримання повітряного сорго шляхом НВЧ обробки основним фактором впливу на процес виступає початкова вологість зерна, яку в дослідженнях [11—14] варіювали в межах 12—21%, а оптимальних якостей повітряний продукт досягав за вологості 16—17% [12—14] і потужності генератора надвисокочастотного випромінювання 900 Вт під час обробки зерна. Своєю чергою, проведені дослідження [5] свідчать про неприйнятні органолептичні показники якості повітряного сорго за умови його обробки при потужності надвисокочастотного випромінювання понад 750 Вт. Встановлено [12], що найвищим є вихід повітряного зерна для сорту Mugad (81,2%), для інших

досліджених сортів показник варіював від 54,2 до 74,5% (GJ-42, Red, Nandel), коефіцієнт розширення зернівки становив 9—14,5 (найвищий для сортів Nandel і Mugađ). Такі відмінності пояснюються особливостями анатомічної будови зерна залежно від сорту. Проте, як показують наші дослідження, залежно від крупності зерна і його сортових особливостей слід проводити коректування режимів обробки зерна, а у [12] зерно сорго обробляли за однакових параметрів. Тобто відсутнім є аналіз ступеня впливу основних технологічних факторів процесу отримання повітряного продукту із зернового сорго.

Під час технологічного процесу отримання повітряного зерна шляхом НВЧ обробки до основних факторів впливу на якість кінцевого продукту належить фактор початкової вологості зерна перед обробкою, який регулюється шляхом його кондиціювання перед обробкою, та параметр НВЧ обробки — потужність магнетрону, який генерує надвисокочастотні хвилі. Оцінку впливу вказаних факторів на процес отримання повітряного зерна шляхом НВЧ обробки здійснювали шляхом дисперсійного аналізу як дослідження впливу декількох якісних змінних (факторів) на сукупність залежних кількісних змінних.

Як першу залежну кількісну змінну використовували значення виходу повітряного зерна. На рис. 1 відображено результати дисперсійного аналізу впливу факторів початкової вологості зерна і потужності НВЧ обробки на цей показник. Визначальний вплив на вихід повітряного продукту має потужність НВЧ обробки зерна сорго, ступінь впливу фактора залежно від сорту зерна становить 55—92%. Менший, проте суттєвий вплив на показник має вологість зерна для сортів Дніпровський, Кафрське, Самаран.

Потрібно відзначити, що для сорту Лан обидва фактори не є визначальними щодо виходу повітряного продукту, який, як було встановлено у результаті досліджень, серед усіх сортів є одним із найнижчих і становить не більше 38%. Тому цей сорт зернового сорго використовувати для отримання повітряного продукту нецільно.

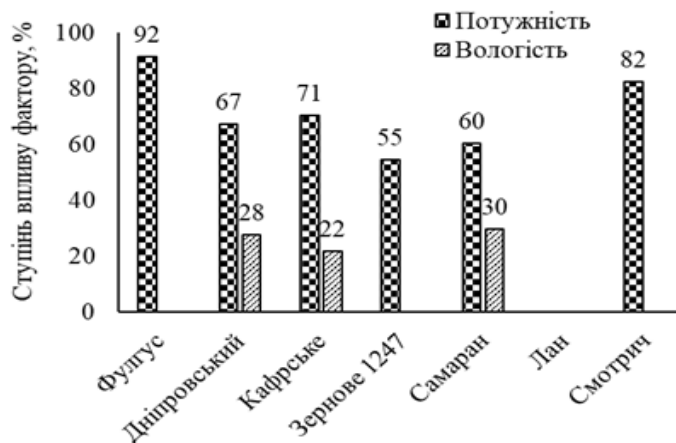


Рис. 1. Вплив технологічних факторів на вихід повітряного зерна сорго різних сортів

На відміну від виходу, об'ємна маса повітряного продукту із сорго переважно зумовлюється вологістю зерна до НВЧ обробки, яку можна змінювати попереднім кондиціюванням зерна (рис. 2).

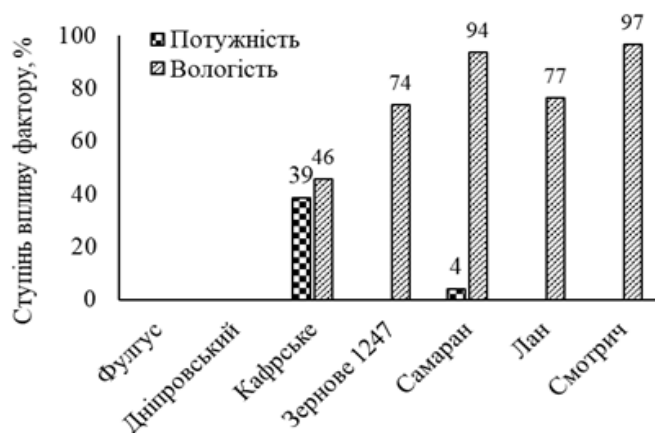


Рис. 2. Вплив технологічних факторів на об'ємну масу повітряного сорго різних сортів

Цей фактор обробки є суттєвим для сортів Кафрське, Зернове 1247, Самаран, Лан, Смотрич (ступінь впливу — 46—97%) та не позначається на об'ємній масі зерна сортів Фулгус і Дніпровський. Фактор потужності генератора надвисоко-частотного випромінювання позначається на вищевказаному технологічному критерії якості достовірно лише для сортів Кафрське і Самаран.

Найменший відгук на зміну факторів обробки надвисоко-частотним випромінюванням зерна сорго знаходить коефіцієнт розширення зернівки (рис. 3). Виключення становлять сорти Фулгус і Дніпровський, на коефіцієнт розширення зернівки яких суттєво впливає вологість зерна до обробки. Очевидно, що цей технологічний показник якості залежить в основному від сортових особливостей зерна. Тому його значення суттєво варіюють від 7 до 15, сягаючи максимуму для зерна сорго сорту Кафрське, що відрізняється білим кольором і мінімальною часткою зерна фракції 5/4.

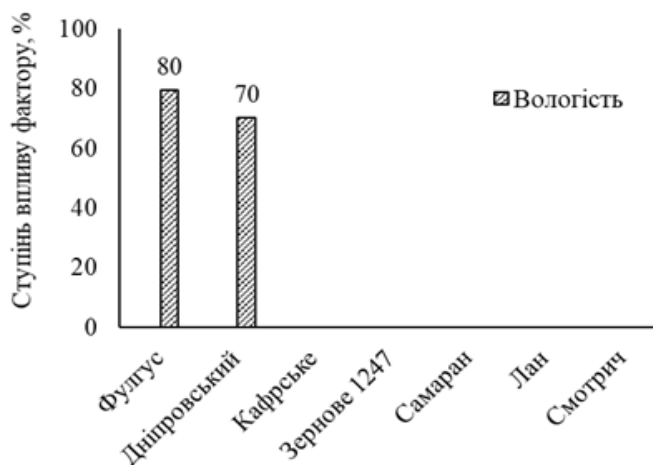


Рис. 3. Вплив технологічних факторів на коефіцієнт розширення сорго різних сортів

Отже, щодо зміни технологічних факторів — початкової вологості зерна і потужності генератора надвисоко-частотного випромінювання — найбільш чутли-

вими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський. Це узгоджується з результатами аналізу якості продукції, що показали вказані сорти як сорти з прийнятними поп-властивостями, для яких основні технологічні показники якості зерна варіюють в межах: вихід — 56—92%; об'ємна маса — 63—95 г/см³; коефіцієнт розширення — 9—15.

Висновки. Ефективність використання зерна сорго для отримання цілнотного повітряного продукту суттєво залежить як від сортових особливостей зерна, так і від технологічних факторів його обробки. Вихід повітряного зерна для досліджених сортів коливається в межах 38—92%, сягаючи максимальних значень для сортів сорго Фулгус, Самаран, Дніпровський. Об'ємна маса повітряного зерна становить від 48 (Лан) до 95 г/см³ (Кафрське). Коефіцієнт розширення зернівки залежно від сорту зерна варіює від 6 до 15, а для сортів зернового сорго Кафрське, Самаран, Зернове 1247, Фулгус характерні максимальні значення показника.

За допомогою дисперсійного двофакторного аналізу встановлено, що переважний вплив на вихід повітряного продукту має потужність НВЧ обробки зерна сорго. Об'ємна маса повітряного продукту із сорго в основному зумовлюється вологістю зерна до НВЧ обробки, яку можна змінювати шляхом попереднього кондиціонування зерна. Цей фактор обробки є суттєвим для сортів Кафрське, Зернове 1247, Самаран, Лан, Смотрич. Найменший відгук на зміну факторів обробки надвисокочастотним випромінюванням зерна сорго має коефіцієнт розширення зернівки, за винятком сортів Фулгус і Дніпровський, на коефіцієнт розширення зернівки яких суттєво впливає вологість зерна до обробки. Тобто до варіювання технологічних факторів — початкової вологості зерна і потужності генератора надвисокочастотного випромінювання — найбільш чутливими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський.

ЛІТЕРАТУРА

1. Understanding the diversity in yield potential and stability among commercial sorghum hybrids can inform crop designs / Clarke S. J. [et al.] // *Field crops research*. — 2019. — Vol. 230. — P. 84—97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.010>.
2. Saravanabavan S. N. Effect of popping on sorghum starch digestibility and predicted glycemic index / S. N. Saravanabavan, M. M. Shivanna, S. Blattacharya // *Journal of Food Science and Technology*. — 2013. — Vol. 50. — № 2. — P. 387—392. doi: 10.1007/s13197-011-0336-x.
3. Черкасова Э. И. Применение СВЧ-энергии в производстве крупяной продукции / Э. И. Черкасова // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. — 2013. — № 1. — С. 32—37.
4. Physico-functional, thermo-pasting and antioxidant properties of microwave roasted sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / Sharanagat V. S. [et al.] // *Journal of cereal science*. — 2019. — Vol. 85. — P. 111—119. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.013>.
5. Tymchak D. O. Production of popped sorghum with using microwave treatment / D. O. Tymchak, S. Yu. Mykolenko, Y. Y. Kuianov // *Зернові продукти і комбікорми*. — 2018. — Vol. 18. — № 2. — P. 15—20. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.950>.
6. Куянов Ю. Ю. Технологічні аспекти отримання «зірваних» зерен НВЧ-випромінюванням / Ю. Ю. Куянов, С. Ю. Миколенко // *Харчова промисловість*. — 2017. — № 22. — С. 40—48.
7. Інноваційні методи обробки продовольчої сировини: монографія / Миколенко С. Ю. [та ін.]. — Дніпро: Журфонд. — 2017. — 224 с.

8. Mishra G. Popping and puffing of cereal grains: a review/ G. Mishra, D. C. Joshi, B. K. Panda // Journal of grain processing and storage. — 2014. — Vol. 1. — № 2. — P. 34—46.
9. Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum / Mohapatra D. [et al] // Food Chemistry. — 2019. — Vol. 271. — P. 129—135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.196>.
10. Effects of popping on the endosperm cell walls of sorghum and maize / Parker M.L. [et al] // Journal of Cereal Science. — 1999. — Vol. 30. — P. 209—216. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1999.0281>.
11. Sharma V. Process development for puffing of sorghum / V. Sharma, P. S. Champawat, V. D. Mudgal // International journal of current research and academic review. — 2014. — T. 2. — № 1. — C. 164—170.
12. Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum / Gayatri M. [et al] // Journal of cereal science. — 2015. — Vol. 65. — P. 19—24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.001>.
13. Mishra G. Optimization of pretreatments and process parameters for sorghum popping in microwave oven using response surface methodology / G. Mishra, D. C. Joshi, D. Mohaparta // Journal of food science and technology. — 2015. — T. 52. — № 12. — C. 7839—7849. [doi:10.1007/s13197-015-1898-9](https://doi.org/10.1007/s13197-015-1898-9).
14. Gaul J. A. Effect of moisture content and tempering method on the functional and sensory properties of popped sorghum / J. A. Gaul, P. Rayas-Duarte // Cereal chemistry. — 2008. — T. 85. — № 3. — C. 344—350. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-85-3-0344>.
15. Pugh N. Heritability of popping characteristics in sorghum grain / N. Pugh, J. M. Awika, W. L. Rooney // Crop science. — 2017. — Vol. 57. — № 1. — C. 71—77. [doi:10.2135/cropsci2016.04.0250](https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0250).

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОП-СВОЙСТВА ЗЕРНА СОРГО

С. Ю. Мыколенко, Д. О. Тимчак

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

В статье исследовано влияние факторов сверхвысококачастотной обработки зерна сорго на качество цельнозернового воздушного продукта в зависимости от сортовых особенностей зерна. Установлены особенности поп-свойств зерна сортов сорго, выращенных в Украине, а именно Лан, Днепропетровский, Смотрич, Фулгус, Зерновое 1247, Самаран, Кафрское. С помощью дисперсионного двухфакторного анализа установлено, что преобладающее влияние на выход воздушного продукта имеет мощность сверхвысококачастотной обработки зерна сорго, степень влияния фактора в зависимости от сорта зерна составляет 55—92%. По чувствительности к варьированию технологических факторов сорта зернового поп-сорго располагаются в следующем порядке: Самаран → Кафрское → Фулгус → Днепропетровский. Зерно сорго таких сортов характеризуется приемлемыми поп-свойствами и при условии рационально подобранных технологических параметров обработки может быть использовано для получения воздушного сорго.

Ключевые слова: зерновое сорго, воздушное зерно, сверхвысококачастотная обработка, кондиционирование, технологические свойства, дисперсионный анализ.

УДК 663.098, 663.664

DEVELOPMENT OF STANDARDS FOR MAXIMUM ALLOWABLE ALCOHOL LOSSES IN THE PRODUCTION OF ALCOHOL-CONTAINING PRODUCTS FROM A MASH

G. Kyziun, O. Mishchenko, A. Mozharovska*SSI «Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology of Food Products»***S. Oliynyk***National University of Food Technologies***Key words:**

boundary acceptable norms of losses, rectified ethyl alcohol, alcohol-containing products, dehydration, adsorption, semi permeable membranes, azeotropic rectification, anhydrous alcohol volume

Article history:

Received 05.09.2019

Received in revised form 10.10.2019

Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

lana_ol@ukr.net

ABSTRACT

The existing standards for the maximum allowable losses of ethyl alcohol in the production of alcohol-containing products from mash was studied and a methodology for determining the actual losses of alcohol in the production of bioethanol, the dehydrated reflux component of rectification (DRCR) and rectified dehydrated ethyl alcohol (RDEA) by adsorption on semi-permeable membranes was developed.

The actual losses of alcohol in the production of dehydrated alcohol-containing products using various methods of dehydration have been determined experimentally.

The researches for determination of actual losses of alcohol in the production of alcohol-containing products were carried out with the rhythmic work of the alcohol plants of the State Enterprise “Ukrspirt”: Luzhansky, Naumovsky and Gaysinsky, as well as the enterprise “Biofuel and Energy Company”, the productivity of the plants was close to the design in accordance with the technological regulations.

For the first time, the actual losses of ethyl alcohol during the production of dehydrated alcohol-containing products from the mash were experimentally determined using adsorption on molecular sieves and dehydration with pervaporation on semi-permeable membranes. The following standards for alcohol losses were established in the production of dehydrated alcohol-containing products from mash, in % of anhydrous alcohol supplied to the installation when dehydration is applied:

- by azeotropic rectification with cyclohexane in the spring and summer period at a rate of 3,0%, and in the autumn and winter period — 2,8%;

- by membrane pervaporation in the spring and summer period at the rate of 2,9%, and in the autumn and winter period at the rate of 2,7%;

- by adsorption on molecular sieves in the spring and summer period of production in the rate of 1,9%, and in the autumn and winter period of the year in the rate of 1,7% of anhydrous alcohol submitted to the installation.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-5

РОЗРОБЛЕННЯ НОРМАТИВІВ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИХ ВТРАТ СПИРТУ ЕТИЛОВОГО ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ЗНЕВОДНЕНОЇ СПИРТОВМІСНОЇ ПРОДУКЦІЇ З БРАЖКИ

Г. О. Кизюн, канд. техн. наук

О. С. Міщенко, канд. техн. наук

А. А. Можаровська

ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод»

С. І. Олійник, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Проаналізовано існуючі нормативи гранично допустимих втрат спирту етилового під час виробництва спиртовмісних продуктів із бражки та розроблено методику визначення фактичних втрат спирту під час виробництва біоетанолу, флегмового компонента ректифікації зневодненого (ФКРЗ) і спирту етилового ректифікованого абсолютного (СЕРА) методом адсорбції на напівпроникливих мембранах та азеотропною ректифікацією. Експериментальним шляхом визначено фактичні втрати спирту у виробництві зневодненої спиртовмісної продукції при застосуванні різних способів зневоднення. Узагальнено результати досліджень і розроблено проект нормативів гранично допустимих втрат спирту під час виробництва спиртовмісної продукції з дозрілої бражки.

Ключові слова: гранично допустимі нормативи втрат, спирт етиловий ректифікований, спиртовмісна продукція, зневоднення, адсорбція, напівпроникливі мембрани, азеотропна ректифікація, об'єм безводного спирту.

Постанова проблеми. У виробництві спирту етилового ректифікованого та інших спиртовмісних рідин із бражки одним із основних показників, що підлягають контролюванню, є величина втрат спирту етилового ректифікованого, яка не повинна перевищувати гранично допустимі значення, визначені нормативами допустимих втрат спирту, розробленими та затвердженими в установленому порядку [1].

У виробництві підприємства використовують нормативні втрати спирту, розроблені у 2005 р. та затверджені Департаментом з питань адміністрування акцизного збору і контролю за виробництвом та обігом підакцизних товарів ДПА України «Нормативи допустимих втрат спирту на безперервно діючих брагоректифікаційних установках» («Нормативи...»), які втратили свою чинність. Цими «Нормативами...» визначено гранично допустимі втрати спирту на безперервно діючих брагоректифікаційних установках під час виробництва спирту етилового ректифікованого різних сортів спирту етилового технічного марок А, Б і В та флегмового компонента ректифікації денатурованого. Крім того, визначено гранично допустимі втрати при виробництві зневоднених продуктів, зокрема спирту етилового ректифікованого абсолютного, спирту етилового технічного марок Г, Д і Е, флегмового компонента ректифікації денатурованого зневодненого на установках зневоднення азеотропною ректифікацією.

Однак за час дії вказаних «Нормативів...» було освоєно виробництво ряду нових зневоднених спиртовмісних продуктів, перш за все біоетанолу, а також інших продуктів технічного призначення. Для їх випуску розроблено та впроваджено у виробництво ряд нових технологій, таких як зневоднення адсорбцією на молекулярних ситах і зневоднення за допомогою напівпроникливих мембран, які відрізняються від азеотропного зневоднення суттєво меншими енергетичними

витратами. Для цих виробництв наразі взагалі відсутні науково обґрунтовані нормативи втрат спирту [2—5].

Метою досліджень є встановлення фактичних втрат спирту етилового під час виробництва з бражки спиртовмісної продукції, в тому числі нових видів продукції та за новими технологіями.

Матеріали і методи. Визначення фактичних втрат спирту у виробництві спиртовмісної продукції здійснювали за ритмічної роботи підприємства, на якому проводили дослідження, з продуктивністю близькою до проектної продуктивності установки згідно з технологічним регламентом, за умови достатньої забезпеченості нагрівальною парою, водою для охолодження та кваліфікованим обслуговуючим персоналом згідно зі штатним розписом. Тривалість ритмічної роботи підприємства для успішного проведення досліджень становила 10—15 діб.

Окрім того, обов'язковими умовами для проведення досліджень були:

- наявність і справність запірної арматури, яка забезпечує можливість обліку кількості дозрілої бражки, що подають на перероблення на установку;
- наявність і справне функціонування АСУТП установки згідно з вимогами технологічного регламенту;
- наявність і справність системи обліку готової спиртовмісної продукції.

Експериментальні дослідження проводились на Лужанському МПД ДП «Укрспирт», ДП «Наумівський спиртовий завод», ДП «Гайсинський спиртовий завод» та підприємстві ТОВ «Біопаливно-енергетична компанія» (м. Луцьк).

Під час досліджень на Лужанському МПД ДП «Укрспирт» перероблялась бражка, одержана при зброджуванні меляси за двопотоковою схемою зброджування суслу підвищеної концентрації. Визначено фактичні втрати спирту під час виробництва флегмового компонента ректифікації зневодненого денатурованого (ФКРЗД) з бражки із застосуванням зневоднення азеотропною ректифікацією з циклогексаном у весняно-літній період року.

Під час досліджень на ДП «Наумівський спиртовий завод» переробляли бражку, одержану при зброджуванні меляси за двопотоковою схемою. Бражку переробляли на двох брагоректифікаційних установках (БРУ) непрямої дії. Визначено фактичні втрати спирту під час виробництва біоетанолу з бражки із застосуванням зневоднення методом мембранної первапорації у весняно-літній та осінньо-зимовий періоди.

Під час досліджень на ДП «Гайсинський спиртовий завод» переробляли бражку, одержану при переробці меляси за схемою періодичного зброджування. Визначено фактичні втрати спирту під час виробництва біоетанолу з бражки із застосуванням зневоднення адсорбцією на молекулярних ситах у весняно-літній період та осінньо-зимовий періоди.

Для встановлення «Нормативів...» було визначено середні втрати на кожному підприємстві для певної пори року у відсотках по відношенню до безводного спирту поданого на установку.

Результати досліджень систематизували із застосуванням математичних і статистичних методів та програмного забезпечення, також проведено обробку масиву даних.

Результати дослідження. Враховуючи, що адсорбція води на молекулярних ситах наразі є найбільш розповсюдженим способом зневоднення, з метою уточнення фактичних втрат спирту було додатково проведено чотири досліді з визначення втрат спирту в осінньо-зимовий період року при виробництві з бражки зневодненого спиртовмісного розчинника на підприємстві ТОВ «Біопаливно-енергетична компанія» (м. Луцьк). Результати експериментальних досліджень наведено у табл. 1—2.

Для Лужанського МПД ДП «Укрспирт» середні фактичні втрати спирту у весняно-літній період року при виробництві ФКРЗД з бражки із застосуванням зневоднення азеотропною ректифікацією за результатами трьох дослідів склали:

$$V_{\text{сер.}} = (105,4 + 96,3 + 97,4) \cdot 100 / (3503,2 + 2999,7 + 3452,0) = 3,0\%$$

Середні фактичні втрати спирту під час виробництва біоетанолу з бражки із застосуванням зневоднення на напівпроникливих мембранах на ДП «Наумінський спиртовий завод» у весняно-літній період року склали:

$$V_{\text{сер.}} = (156,1 + 153,6 + 37,5) \cdot 100 / (5305,6 + 5397,2 + 1239,8) = 2,91\%;$$

- в осінньо-зимовий період року:

$$V_{\text{сер.}} = (131,1 + 74,7 + 72,8) \cdot 100 / (4886,7 + 2686,5 + 2737,6) = 2,7\%.$$

Середні фактичні втрати спирту під час виробництва біоетанолу з бражки із застосуванням зневоднення адсорбцією на молекулярних ситах на ДП «Гайсинський спиртовий завод» у весняно-літній період року склали:

$$V_{\text{сер.}} = (104,8 + 97,1 + 128,7 + 131,0) \cdot 100 / (5589,4 + 5553,2 + 6615,2 + 6810,1) = 1,88\%;$$

- в осінньо-зимовий період року:

$$V_{\text{сер.}} = (107,6 + 104,8 + 114,1) \cdot 100 / (6157,8 + 6632,5 + 6714,2) = 1,67\%.$$

Таблиця 1. Фактичні втрати спирту етилового під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки у весняно-літній період

Підприємство, де проводили дослідження з визначення фактичних втрат спирту	№ досліду	Кількість безводного спирту, дал		Фактичні втрати, дал безводного спирту				Загальні втрати	
		поданого на установку	отриманого з продуктами	з бардою	з лютерною водою	з газами	втрати, що не визнаються експериментально	дал безводного спирту	% від спирту поданого на установку
Лужанське МПД ДП «Укрспирт»	1	3503,2	3397,8	4,7	0,8	4,8	95,1	105,4	3,00
	2	2999,7	2903,4	3,5	0,7	4,8	87,3	96,3	3,21
	3	3452,0	3354,6	4,4	0,8	5,6	86,6	97,4	2,82
ДП «Наумінський спиртовий завод»	1	5305,6	5149,5	0,0	0,0	6,0	150,1	156,1	2,94
	2	5397,2	5243,6	9,7	0,0	9,3	134,6	153,6	2,85
	3	1239,8	1202,3	2,2	0,0	1,6	33,7	37,5	3,02
ДП «Гайсинський спиртовий завод»	1	5589,4	5484,6	7,3	0,0	0,82	96,7	104,8	1,87
	2	5553,2	5456,1	7,4	0,02	0,82	88,9	97,1	1,75
	3	6615,2	6486,5	4,4	0,0	0,78	123,5	128,7	1,95
	4	6810,1	6679,1	7,4	0,04	0,81	122,8	131,0	1,92

Таблиця 2. Фактичні втрати спирту етилового під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки в осінньо-зимовий період

Підприємство, де проводили дослідження з визначення фактичних втрат спирту	№ досліду	Кількість безводного спирту, дал		Фактичні втрати, дал безводного спирту				Загальні втрати	
		поданого на установку	отриманого з продуктами	з бардою	з лютерною водою	з газами	втрати, що не визнаються експериментально	дал безводного спирту	% від спирту поданого на установку
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДП «Наумінський спиртовий завод»	1	4886,7	4755,6	9,0	0,2	0,9	121,0	131,1	2,68
	2	2686,5	2611,8	4,6	0,1	1,3	68,7	74,7	2,78
	3	2737,6	2664,8	4,8	0,1	1,4	66,5	72,8	2,66

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДП «Гайсинський спиртовий завод»	1	6157,8	6050,2	11,9	0,02	1,9	93,8	107,6	1,75
	2	6632,5	6527,7	12,4	0,03	2,2	90,2	104,8	1,58
	3	6714,2	6600,1	33,9	0,06	2,2	77,9	114,3	1,70
	4	—	—	—	—	—	—	—	—
ТОВ «БІОПЕК»	1	1955,9	1924,4	2,3	4,8	0,9	23,6	31,6	1,62
	2	4629,1	4551,7	1,8	10,4	0,5	64,7	77,4	167
	3	5147,5	5059,0	0,9	13,1	0,6	73,9	88,5	1,72
	4	4321,1	4246,8	0,7	8,1	0,7	64,7	74,3	1,72

Експериментальні дослідження фактичних втрат спирту етилового під час виробництва зневоднених спиртовмісних рідин з бражки із застосуванням адсорбції на молекулярних ситах на ТОВ «Біопаливно-енергетична компанія» підтвердили попередньо отримані результати на ДП «Гайсинський спиртовий завод. Середні фактичні втрати спирту в осінньо-зимовий період року на ТОВ «Біопаливно-енергетична компанія» склали:

$$V_{\text{середн}} = (31,6 + 77,4 + 88,5 + 74,3) \cdot 100 / (1955,9 + 4629,1 + 5147,5 + 4321,1) = 1,69\%.$$

На основі результатів проведених експериментальних досліджень з визначення фактичних втрат спирту етилового встановлено такі нормативи втрат під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки, у % від безводного спирту поданого на установку під час застосування зневоднення:

- азеотропною ректифікацією з циклогексаном у весняно-літній період року у розмірі 3,0%, в осінньо-зимовий період року — 2,8%;

- мембранною первапорацією у весняно-літній період року у розмірі — 2,9%, в осінньо-зимовий період року — 2,7%;

- адсорбцією на молекулярних ситах у весняно-літній період виробництва у розмірі 1,9%, в осінньо-зимовий період року — 1,7% від безводного спирту поданого на установку.

Результати проведених вибірових досліджень фактичних втрат спирту етилового на безперервно діючих брагоректифікаційних установках підтвердили актуальність нормативів втрат, передбачених попередньою редакцією «Нормативів гранично допустимих втрат спирту на безперервно діючих брагоректифікаційних установках», під час виробництва з бражки спирту етилового ректифікованого різних сортів, спирту етилового технічного марок А, Б і В та флегмового компонента ректифікації денатурованого.

Висновки. У результаті проведених досліджень вперше експериментально визначено фактичні втрати спирту етилового під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки із застосуванням зневоднення адсорбцією на молекулярних ситах і зневоднення первапорацією на напівпроникливих мембранах, а також уточнено фактичні втрати спирту етилового під час виробництва зневодненої спиртовмісної продукції з бражки із застосуванням зневоднення азеотропною ректифікацією з циклогексаном.

ЛІТЕРАТУРА

1. Виробництво етилового спирту з харчової сировини. Терміни та визначення: ДСТУ 3296-95. — К.: Київ, Держстандарт, 1996. — 38 с. — (Національний стандарт України).
2. Брей В. В. Біоетанол в Україні / В. В. Брей, І. В. Щуцький // Вісник Національної Академії наук України. — 2016. — № 6. — С. 71—76.
3. Золотарьова О. Куди прямує біопаливна індустрія / О. Золотарьова, Є. Шнюкова // Вісник Національної Академії наук України. — 2010. — № 4. — С. 10—20.

4. Калетник Г. М. Перспективи виробництва біоетанолу в Україні / Г. М. Калетник // Вісник аграрної науки. — 2008. — № 11. — С. 45—50.

5. Розроблення та випробування технології комплексного трансформування вуглеводного складу рослинної сировини у біоетанол / С. П. Циганков, О. І. Володько, А. І. Ємець та інші. // Наука та інновації. — 2013. — № 4. — С. 55—69.

6. Методика визначення втрат спирту на безперервнодіючих брагоректифікаційних установках, в т.ч., енерго- та ресурсозберігаючих. — Київ: ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод», 2016. — 27 с.

РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМЫХ ПОТЕРЬ СПИРТА ЭТИЛОВОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБЕЗВОЖЕННОЙ СПИРТСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ БРАЖКИ

Г. А. Кизюн, А. С. Мищенко, А. А. Можаровская

ГНУ «УкрНДІспиртбіопрод»

С. И. Олейник

Национальный университет пищевых технологий

Проанализировано существующие нормативы предельно допустимых потерь спирта этилового при производстве спиртосодержащих продуктов из бражки и разработано методику определения фактических потерь спирта при производстве биоэтанол, флегмового компонента ректификации обезвоженного (ФКРЗ) и спирта этилового ректифицированного абсолютированного (СЕРА) методом адсорбции на полупроницаемых мембранах и азеотропной ректификацией. Экспериментальным путем определены фактические потери спирта в производстве обезвоженной спиртосодержащей продукции при применении различных способов обезвоживания. Обобщены полученные результаты исследований и разработан проект нормативов предельно допустимых потерь спирта при производстве спиртосодержащей продукции с созревшей бражки.

Ключевые слова: *предельно допустимые нормы потерь, спирт этиловый ректифицированный, спиртосодержащая продукция, обезвоживание, адсорбция, полупроницаемые мембраны, азеотропная ректификация, объем безводного спирта.*

УДК 664.121

PRESERVATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF SUGAR BEET DURING HARVESTING AND STORAGE OF SUGAR BEET IS THE KEY FOR OBTAINING SUGAR OF HIGH QUALITY CATEGORIES

V. Mil'kevych

*Institute of Post-Diploma Training of the National University of Food Technologies***Key words:**

root crop,
sugar beet,
technical ripeness,
sugar content,
harvesting methods,
ripeness coefficient

Article history:

Received 25.10.2019
Received in revised form
06.11.2019
Accepted 24.11.2019

Corresponding author:

sugar_ipdo@ukr.net

ABSTRACT

The analysis of factors was made that affect the technological quality of sugar beets during its harvesting and storage. Suggestions have been made to optimize technological processes that make it possible to reduce the weight loss of beets and sugar, and maintain the technological qualities of sugar beets.

To provide sugar factories with benign raw materials in the initial period of production in crops of sugar beets, it is necessary to have early ripening hybrids. When organizing the storage of sugar beets in the field, it is necessary to observe the technology of its storage as at the factory beet reception centers.

The total loss of sucrose in root crops during storage is mainly due to biological processes that are associated with the respiration of root crops and microbiological processes that depend on the physical condition of the root crops, storage conditions and shelf life, and the size of the cut of the root head.

To reduce the loss of sucrose during storage, gravity ventilation of root crops using air is used, using the trays of the operating hydraulic conveyors for this purpose, after overlapping them with grates.

Due to the constant movement of air through the channel of the hydraulic conveyor, the temperature in the blades is lower than in the blades laid near the tray of the hydraulic conveyor, the intensity of respiration and the loss of sucrose are reduced.

To prevent and reduce the effects of blight rot, it is advisable to sugar beets during the growing season, root crops during storage, treated with biocidal preparations, use fungicide — lignite. Fungicide inhibits bacteria, mold fungi, inhibits enzymes that decompose sugar. Protective actions are from 90 to 120 days.

The drug accompanies the accumulation of sugar in root crops, due to the activation of the outflow of nutrients from leaves to root crops.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-6

ЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ПІД ЧАС ЗБИРАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ — ЗАПОРУКА ОДЕРЖАННЯ ЦУКРУ ВИСОКИХ КАТЕГОРІЙ ЯКОСТІ

В. М. Мількевич, канд. техн. наук

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

У статті проаналізовано фактори, які впливають на технологічну якість цукрових буряків при їх збиранні і зберіганні. Внесено пропозиції щодо оптимізації технологічних процесів, які надають можливість зменшити псування коренеплодів і зберегти технологічні якості вирощених цукрових буряків. Розроблено рекомендації, які надають можливість покращити ведення технологічних операцій буряко-сіючими господарствами і цукровими заводами, зменшити втрати маси буряків і цукру та зберегти їхні технологічні якості. Показано, що для забезпечення цукрозаводів доброякісною сировиною в початковий період виробництва доцільно використовувати сорти скоростиглих гібридів цукрових буряків. Доведено, що загальні втрати цукрози в коренеплодах при зберіганні обумовлені, в основному, біологічними процесами, пов'язаними з диханням коренеплодів і мікробіологічними процесами, які залежать від їх фізичного стану, умов і термінів зберігання, величини зрізу гички та головки буряка, а механічні пошкодження коренеплодів є одним із основних факторів, які впливають на втрату цукрози при диханні. Показано важливість оброблення цукрових буряків біоцидними засобами, зокрема фунгіцидом «Кагатник».

Ключові слова: *коренеплід, цукровий буряк, технічна стиглість, вміст цукру, способи збирання, коефіцієнт стиглості.*

Постановка проблеми. Для одержання цукру високих категорій якості необхідно мати якісну сировину. Вирішення проблем збирання, зберігання коренеплодів та їх технологічних якостей під час перероблення для України залишається актуальним. Одночасно з цим важливим напрямком обмеження втрат біологічної продукції і підвищення виходу цукру є обмеження загальних термінів переробки.

Метою статті є узагальнення сучасних підходів до питань збирання та зберігання цукрових буряків. **Матеріали і методи.** З метою оцінки зменшення втрат маси буряків і цукру, недопущення погіршення їхніх технологічних якостей була вивчена технологія використання для укриття поверхні кагатів з буряками нетканого полотна Torptex (виробництво Австрія), а також фунгіциду «Кагатник» ВРК (виробництво «Щолково-Агрохім», Росія). В дослідження коренеплоди оброблялись 60 мл «Кагатника», попередньо розведеними до 3 л/т коренеплодів.

Для визначення втрат маси буряків і цукру після їх зберігання використовувалась методика закладання в кагати сіткових проб буряків у сітках, поверхня яких була вкрита і некрита нетканим полотном (напівпромислові дослідження). Також досліджувалися буряки в сітках, закладених в кагати, вкритих і некритих очеретяними матами. Закладались у кагати сітки, коренеплоди в яких були оброблені і необроблені «Кагатником». Буряки обробляли фунгіцидом за допомогою ручного обприскувача.

Дослідження в промислових умовах передбачали об'ємну обробку цукрових буряків під час укладання їх на зберігання робочим розчином препарату за

допомогою серійної установки для об'ємної обробки поверхні буряків Ш1-ПОХ, якою обладнали мобільний кагатоукладчик.

Формування сіткових проб, визначення середньодобових втрат цукру та бурякової маси при зберіганні, фітопатологічні й аналітичні аналізи виконували за прийнятими у цукровій промисловості методиками.

Викладення основних результатів дослідження. Для одержання цукру, здатного конкурувати на зовнішніх ринках, потрібна високоякісна сировина. Головним завданням під час збирання і зберігання буряків є збереження вихідних технологічних якостей коренеплодів, одержаних під час вегетації.

Важливим у проведенні кампанії перероблення сировини є вибір оптимальних термінів збирання цукрових буряків, при цьому слід враховувати: очікуваний урожай, технічну стиглість коренеплодів, наявність бурякозбиральної техніки, автотранспорту, буртоукладачів, добові потужності цукрозаводів, метеофактори [1].

Узагальнення цих технологій дає змогу стверджувати, що при плануванні збирання врожаю цукрових буряків слід враховувати, що приріст маси коренеплодів і цукру в них у першій половині вересня, як правило, не збільшує втрати маси буряків та цукру при збільшенні періоду збирання і перероблення їх до грудня-січня, і це підтверджується багаторічним досвідом. Адже відомо, що на початку сезону перероблення буряків вихід цукру на 3...4% більший, ніж у грудні-січні.

На якість цукрових буряків значною мірою впливають терміни збирання (табл. 1).

З метою визначення черговості збирання полів залежно від стану буряків, розміщення їх на категорії зберігання на цукрозаводі або в польових умовах перед початком збирання доцільно зробити суцільне фітопатологічне обстеження коренеплодів на всіх площах і скласти графіки збирання, вивезення та перероблення.

На час збирання буряки повинні бути технічно стиглі, мати коефіцієнт стиглості — 0,6...0,7 при непошкоджену листовому апараті, МБ-фактор — 25...30, максимальну кількість цукру і мінімальну нецукрів, високу доброякісність клітинного соку. Приймання і розрахунки чергової партії цукрового буряку необхідно здійснювати з урахуванням хімічного складу коренеплодів. Буряки, зібрані у жовтні, мають кращі технологічні показники (урожайності, цукристості і хімічного складу), ніж ті, що зібрані у вересні.

Таблиця 1. Продуктивність і якість цукрових буряків залежно від термінів збирання [2]

Показник	Термін збирання	
	14 вересня	1 жовтня
Урожайність коренеплодів, т/га	34,0	37,3
Цукристість, %	18	18,7
Збір цукру, т/га	6,2	7,0
Вміст у коренеплодах, %:	—	—
калію	0,209	0,160
натрію	0,038	0,030
L- амінного азоту	0,076	0,040
Чистота очищеного соку, %	93,1	94,5
Розрахунковий вихід цукру, %	15,4	16,1
Розрахунковий вихід цукру, т/га	5,2	6,0

Для забезпечення цукрозаводів доброякісною сировиною в початковий період виробництва для посіву цукрових буряків необхідно мати сорти скоростиглих

гібридів. Для зменшення витрат на транспортування буряків при значних відстанях бажано вирощувати гібриди типу Z і ZZ (цукристий і максимально цукристий) [3]. При плануванні оптимального завантаження цукрозаводу сировиною важливо визначитись із термінами початку і закінчення її переробки.

При інтенсивному зневодненні коренеплодів втрата кожного відсотка вологи може призвести до збільшення середньодобових втрат цукрози на 0,005...0,01% до маси буряків. При ранніх термінах збирання (початок вересня) на перероблення надходять буряки технічно незрілі, з низькою цукристістю і великою кількістю нецукрів. Коренеплоди мають низьке водоутримання, схильні до в'ялення з подальшим гниттям (табл. 2). При запізненні з початком збирання виникає загроза ураження врожаю слизистим бактеріозом і зниження якості буряка (табл. 3).

Таблиця 2. Результати аналізу коренеплодів цукрових буряків (свіжовикопаних і підв'ялених), які зберігалися протягом 60 діб [3]

Коренеплоди цукрових буряків	Втрати цукрози, % до маси буряків	Зменшення чистоти бурякового соку, %	Маса коренеплодів, що загнили, %
Свіжі викопані	1,3	1,8	Немає
Втратили вологу, %			
7	3,4	4,6	37
13	6,1	11,3	55
17	7,1	12,6	66
28	8,9	16,8	96

Таблиця 3. Хімічний склад і технологічні якості цукрових буряків, уражених слизистим бактеріозом [4]

Якість буряків	Вміст цукру, % до м. б.	Редукуючі речовини	Нормальний сік			
			РН	СР, %	Цукристість, %	Чистота соку, %
Здорова маса, %	17,2	0,134	6,02	22,75	19,0	85,52
Здорова+гнила маса, %						
10	16,9	0,365	5,50	22,6	17,2	76,11
25	15,1	0,473	5,45	22,1	11,4	51,58
50	12,3	0,934	4,75	22,0	10,8	49,09
75	9,0	1,586	4,60	20,8	9,0	43,27
100	5,1	3,691	4,45	20,7	7,2	34,78

Коли маса вимороженої води в тканині буряка досягає 45%, руйнуються клітинні стінки і всередину клітини проникають бактерії *Leuconostok mesenteroides*, які викликають слизистий бактеріоз. При 10% гнилої маси коренеплоди непридатні для одержання білого цукру.

Погодні умови 2015—2017 рр. сприяли збиранню цукрових буряків у листопаді місяці. Це дало змогу підприємствам працювати з високими техніко-технологічними показниками на відміну від 2018 р., коли в листопаді мало місце зниження температури до мінусових показників, підморожування коренеплодів з подальшим ураженням їх слизистим бактеріозом.

Викопані і неперероблені цукрові буряки потрібно зберігати або на призаводських бурякопунктах, або в польових умовах. При організації польового кагатування необхідно додержуватись такої технології їх зберігання, як на призаводських бурякопунктах. Зокрема, це підготовка підкагатних площадок, захист

коренеплодів у кагатах від негативних факторів зовнішнього середовища, обробка поверхні кагатів вапняним розчином, укриття кагатів різними матеріалами (нетканим полотном, солом'яними, очеретяними матами, землею, гичкою).

Втрати маси буряків і цукру, особливо в умовах неоптимальних температур під час їх зберігання, можуть бути значними; величина цих втрат залежить від захисту коренеплодів від негативних факторів зовнішнього середовища (див. табл. 4).

Таблиця 4. Втрати маси буряків і цукру при різних способах польового зберігання [5]

Способи польового зберігання	Втрати маси буряків, % при різних термінах зберігання, діб				Втрати цукрози, % від вихідного вмісту при різних термінах зберігання	
	3	5	10	15	10	15
Кагати вкриті:						
землею на 20...25 см	0,8	1,5	2,5	4,2	0,42	0,72
нетканим полотном	1,1	1,9	4,1	5,2	0,50	0,81
солом'яними матами	1,7	2,5	5,4	7,7	0,63	1,01
гичкою на 20 см	2,1	3,4	7,1	10,4	0,77	1,24
Кагати без укривання	3,8	5,6	9,9	16,8	1,31	1,83
Валки без укривання	4,4	6,1	11,5	17,9	1,70	2,21

Корені під нетканим полотном не пітніють у зв'язку з властивістю тканини створювати оптимальну циркуляцію повітря. Вони дихають, відбувається позитивний газообмін з навколишнім середовищем, разом з тим полотно не пропускає опади всередину кагату. Тканина Torptex значно зменшує перепади температур всередині кагату на фоні таких перепадів на поверхні. При температурі – 10°C полотно обмежено захищає буряки в кагаті від підморожування. Самий верхній шар буряків, який контактує з покриттям, підмерзає, решта буряків зберігає свою кондиційність.

З табл. 4 видно, що втрати маси буряків і цукру менші при укритті коренеплодів землею і легким у використанні нетканим полотном. Не рекомендується укривати кагати подрібненою соломою, тому що вона погано уловлюється на тракті подачі буряків, погіршує якість бурякової стружки.

Основний спосіб збирання цукрових буряків — потоковий — забезпечує високу якість сировини при сприятливих погодних умовах, менші втрати і пошкодження коренеплодів. Перевалочний спосіб збирання потрібно використовувати в екстремальних умовах: дуже вологий, сухий або твердий ґрунт, підвищена забур'яненість поля, ворох, значно забруднений землею, рослинними залишками та при наявності в ґрунті гнилих коренеплодів.

У голівці коренеплоду знаходиться до 12% нецукрів, тоді як в основній частині кореня — до 6%. Налагодження бурякозбиральної техніки на оптимальний зріз головки (до 1 см залежно від ступеня розвитку коренеплоду) надасть можливість підвищити доброякісність очищеного соку, збільшити вихід цукру, зменшити втрати буряків на одержання 1 т цукру та витрати виробничих матеріалів.

Відвантаження коренів з польових кагатів необхідно здійснювати суворо за графіком, який повинен збігатися з графіком їх переробки на цукрозаводі, оскільки буряки, які зберігалися в польових кагатах, вдруге зберігання на цукрозаводі не підлягають. Коренеплоди після збирання для підтримки життєдіяльності використовують власні запаси метаболітів, зокрема цукру, в них відбуваються зміни

хімічного складу. Головне завдання при зберіганні цукрових буряків — зберегти технологічні якості, отримані під час їх вирощування.

Загальні втрати цукрози в коренеплодах при зберіганні обумовлені в основному біологічними процесами, які пов'язані з диханням коренеплодів і мікробіологічними процесами ітазалежать від фізичного стану коренеплодів, умов і термінів зберігання, величини зрізу гички та голівки коренеплоду.

Відразу після надходження буряків на зберігання втрати цукрози, в основному, пов'язані з диханням. При збільшенні термінів зберігання коренеплодів втрати цукрози на 80...90% залежать від розвитку мікробіологічних процесів, які супроводжуються утворенням гнилі. Інтенсивному диханню буряків сприяє їх механічне пошкодження (табл. 5).

Порівнюючи зі стабілізованою величиною, яку приймають за 100%, інтенсивність дихання механічно пошкоджених коренеплодів в перші дві доби після зберігання була у 2—3 рази більшою. Після 8 діб інтенсивність дихання в основному стабілізувалась, пройшло зарубцювання (суберенізація) пошкодженої поверхні тканини.

Таблиця 5. Інтенсивність дихання коренеплодів залежно від характеру пошкоджень і терміну зберігання [4]

Характер пошкодження коренеплодів	Інтенсивність дихання, % до стабілізованого стану, за добу							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Без значних механічних пошкоджень	170	204	195	160	145	120	113	105
З відбитим боком і частково головою	299	291	210	205	190	165	158	140
З відбитою голівкою	270	326	305	250	200	170	140	125
З відбитою боковою частиною	230	240	192	169	150	128	119	106
Розрізані впродовж	329	290	273	240	210	190	180	165
Одержані по 8 ударів	377	350	290	249	212	198	185	176
Одержані різні види ударів	297	303	255	221	194	172	154	144

Примітка: Стабілізована величина = 100.

Таким чином, механічні пошкодження буряків є одним із основних факторів, які впливають на втрату цукрози при диханні. Тому необхідно зменшувати механічні пошкодження цукрових буряків на всіх етапах: під час збирання, навантаження, при укладанні буряків в кагати, при подачі на виробництво.

У перший період зберігання необхідно створювати умови для швидкого заживлення пошкоджень коренеплодів, що призведе до зменшення інтенсивності дихання. Для зниження температури всередині кагату та інтенсивності дихання застосовують вентилявання коренеплодів зволженим повітрям. Це зменшує втрати цукрози на 15...20%, порівняно зі зберіганням без вентилявання.

За відсутності майданчиків з активним вентиляванням ряд цукрозаводів застосовує самопливну вентиляцію коренеплодів повітрям, використовуючи для цього діючі гідротранспортери (ТОВ «Новомиргородський цукор»; ВАТ «Каїнда-Кант», республіка Киргизія). Після перекриття гідротранспортера решітками

(лядами), буряки укладають на гідротранспортер і формують кагат. При такому зберіганні за рахунок постійного руху повітря по каналу гідротранспортера температура в кагаті нижча, ніж у кагатах, укладених біля лотка гідротранспортера. Це дає змогу зменшити інтенсивність дихання коренеплодів та втрати цукру; при подачі буряків у виробництво зменшити механічне пошкодження коренеплодів; зменшити втрати маси буряків удвічі, оскільки 40% коренеплодів після видалення решіток самопливом поступає в гідротранспортер без застосування механізмів для подачі їх на завод.

Забрудненість буряків землею, зеленою масою залежить від способу збирання і погодних умов. При вологості ґрунту понад 23% і забрудненості більше 20% буряки втрачають властивість сипучості. За рівня забрудненості 10% бурякоукладачі відокремлюють лише 10...25% домішок, інші домішки надходять у кагати або на перероблення. Частково буряки поступають на виробництво безпосередньо з транспортних засобів, тому їх навантаження з польових кагатів необхідно здійснювати навантажувачами з доочишувачами типу РОПА. При потраплянні зв'язаних з коренеплодом домішків у кагат зменшується міжкореневий простір, це сприяє виникненню анаеробного дихання буряків і є причиною одержання дифузійного соку низької якості. Зелена маса зменшує чистоту продуктів, на кожні 3% зеленої маси вихід цукру зменшується на 0,3%.

В'янення коренеплодів відбувається при ранніх термінах збирання, при несприятливих погодних умовах (висока температура і низька відносна вологість повітря, інтенсивна сонячна радіація). Об'єм буряків, які знаходяться в поверхневому шарі кагату (висота 3...3,5 м, ширина 12...15 м, на глибині 0,5 м), складає до 35% від всієї кількості буряків. У таких умовах зберігання коренеплоди поверхневого шару втрачають за добу до 1% маси і 0,2% цукрози.

Шляхи вирішення проблеми — своєчасно вивозити і переробляти зібрані коренеплоди, поверхні кагатів обробляти вапняним розчином, буряки зберігати в більш об'ємних кагатах. Буряки, зібрані в більш пізні терміни, зберігати на призаводських бурякопунктах.

Для зменшення дії кагатної гнилі буряки під час укладання на зберігання доцільно обробляти біоцидними препаратами. З цією метою в Білорусі та Росії застосовують фунгіцид «Кагатник» [6]. Завдяки його антисептичній дії препарат позитивно впливає на лежкоздатність і зберігання технологічних якостей цукрових буряків. Препарат пригнічує бактерії, плісняві гриби, пригнічує ферменти, які руйнують цукри. Його захисна дія — 90...120 днів. Препарат виготовляє ЗАТ «Щолково-Агрохім», Росія. «Кагатник» може застосовуватись для боротьби з гнилями коренеплодів і вегетуючих рослин [6].

Висновки. Збирання цукрових буряків необхідно проводити в оптимальні терміни, першочерговим фактором при збиранні повинен бути фактор технічної стиглості буряків.

Для першого періоду виробництва при посівах цукрових буряків, бажано мати сорти скоростиглих гібридів.

Потрібно зменшувати механічні пошкодження коренеплодів на всіх етапах: збиранні, навантаженні, розвантаженні, подачі їх у виробництво.

Для зниження температури в кагатах за рахунок природної вентиляції застосовувати укладання кагатів з буряками на лотки гідротранспортерів.

Для зменшення дії мікроорганізмів на коренеплоди під час вегетації буряків і при укладанні коренеплодів на зберігання, застосовувати біоцидні препарати, зокрема фунгіцид «Кагатник».

При переробці буряків у більш пізні терміни бажано зберігати їх на призоводських бурякопунктах. Додержання технологій збирання, зберігання цукрових буряків дасть змогу забезпечити цукрозаводи високоякісною сировиною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Роїк М. В. Управління технологічними процесами вирощування цукрових буряків / М. В. Роїк, В. М. Сінченко. — Вінниця: «Нілан ЛТД», 2013. — 38 с.
2. Чернявская Л. И. Пути снижения потерь сахарозы при переработке сахарной свеклы: материалы научно-технического семинара / Л. И. Чернявская. — Киев: ИПЦА ЛКОН, 2006. — 8 с.
3. Хелемский М. З. Технологические качества сахарной свеклы / М. З. Хелемский — Москва: Пищевая промышленность, 1973. — 253 с.
4. Сахарная свекла: проблемы повышения технологических качеств и эффективности переработки / Чернявская Л. И., Ионищой Ю. С., Штангеев В. О., Милькевич В. М. и др. — Киев: Фитосоциологический центр, 2003. — 308 с.
5. Сахарная свекла. Выращивание, уборка, хранение / Шпар Д., Дрегер Д. и др. — Москва: UD 000 «DLV Agroдело», 2013. — 412 с.
6. Инновационный продукт нового поколения / Н. М. Сапронов // Сахарная свекла. — № 7. — 2013. — С. 16—18.

СОХРАНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ СБОРЕ И ХРАНЕНИЕ — ЗАЛОГ ПОЛУЧЕНИЯ САХАРА ВЫСОКИХ КАТЕГОРИЙ КАЧЕСТВА

В. М. Милькевич

*Институт последипломного образования
Национального университета пищевых технологий*

Выполнен анализ факторов, влияющих на технологическое качество сахарной свеклы при ее сборе и хранении. Внесены предложения по оптимизации технологических процессов, позволяющих уменьшить порчу корнеплодов и сохранить технологические качества выращенной сахарной свеклы. Показано, что для обеспечения сахарных заводов доброкачественным сырьем в начальный период производства целесообразно использовать сорта скороспелых гибридов сахарной свеклы. Доказано, что общие потери сахарозы в корнеплодах при хранении обусловлены в основном биологическими процессами, связанными с дыханием корнеплодов и микробиологическими процессами, которые зависят от их физического состояния, условий и сроков хранения, величины среза ботвы и головки свеклы, а механические повреждения корнеплодов являются одним из основных факторов, влияющих на потерю сахарозы при дыхании. Показана важность обработки сахарной свеклы биоцидными средствами, в частности фунгицидом «Кагатник».

Ключевые слова: *корнеплод, сахарная свекла, техническая спелость, содержание сахара, способы уборки, коэффициент спелости.*

УДК 637.146

THE INFLUENCE OF NATURAL FERMENTATION OF RAW MILK AND THE STARTER CULTURES USED IN THE YOGURT AND IN THE SOUR CREAM PRODUCTION ON THE DENITRIFICATION

S. Pyskiv, M. Kukhtyn

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Key words:

milk,
yogurt,
sour cream,
denitrification,
starter,
fermentation

Article history:

Received 15.04.2019

Received in revised form

16.10.2019

Accepted 22.11.2019

Corresponding author:

prudence.luck@gmail.com

ABSTRACT

It is known that for the manufacture of the high-quality dairy products, especially for the infant food, it is necessary to use milk, the content of nitrates in which should be lower than 5 mg/kg. However, in the certain periods of the year, cow's milk contains an excessive amount of nitrates. Milk-raw material with excessive nitrate content is not suitable for processing, which causes the significant raw material and financial losses.

The objective of this work is to study the peculiarities of the denitrification process during the natural milk fermentation and in the technology of the cultured dairy products (yogurt and sour cream) with the different nitrate content.

According to the results of the study it was established that the process of denitrification in milk of natural fermentation is best done in the first 24 hours, due to the presence of denitrifying bacteria in the raw milk (decreases by about 3,1 times).

However, the reduction of nitrates to the norms of the European standard (5 mg/kg) occurs in milk with a content of nitrates up to 20—25 mg/kg. When the content of nitrates was 30 mg/kg, this indicator was not reached.

Obviously, along with a nitrate content in milk of more than 20 mg/kg, the inhibitory effect of nitrates on the ability of the microflora of raw milk to denitrification occurs.

It was established that in the production of yogurt the starter with the content of bacteria *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* and *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* is used and in the production of sour cream the starter of mesophilic lactic acid bacteria *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* is used and the denitrification process does not occur. The expediency of creating of starter with the content of the lactic acid microorganisms, which showed the denitrification ability in the production of sour-milk products, was substantiated.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-7

© С. І. Писків, М. Д. Кухтин, 2019

ВПЛИВ ПРИРОДНОГО СКВАСУВАННЯ СИРОГО МОЛОКА ТА ЗАКВАСОЧНИХ КУЛЬТУР ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЙОГУРТУ І СМЕТАНИ НА ПРОЦЕС ДЕНІТРИФІКАЦІЇ

С. І. Писків, аспірант

М. Д. Кухтин, д-р вет. наук

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя

У статті на основі літературних джерел висвітлено проблему наднормативного вмісту нітратів у молоці-сировині, яке поступає на переробку. Визначено динаміку вмісту нітратів під час самосквашування молока сирого, а також після внесення класичних заквасок у попередньо підготовлене молоко та вершки згідно з технологією виготовлення йогурту і сметани відповідно. У технологічному процесі виробництва йогурту з використанням закваски з вмістом бактерій *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* і *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* та в технології виробництва сметани на заквасці мезофільних молочнокислих бактерій *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* визначено, що процес денітрифікації не відбувається. Доведено необхідність пошуку закваски із вмістом молочнокислих мікроорганізмів, яка б проявляла денітрифікуючу здатність при виготовленні кисломолочних продуктів, зокрема йогурту і сметани. **Ключові слова:** молоко, йогурт, сметана, денітрифікація, закваска, сквашування.

Постановка проблеми. Загальновідомо, що нітрати і нітрити у наднормативній кількості в продуктах мають токсичний вплив на організм людини, особливо немовлят [1—3]. Так, у [4—7] зазначається, що в окремі періоди року вміст нітратів у молоці перевищує допустимий норматив (понад 5 мг/кг за європейськими вимогами [8] і понад 10 мг/кг за українським ДСТУ 3662). В організм великої рогатої худоби (ВРХ) нітрати можуть потрапити як з кормами, так і з водою. Відомо, що у передшлунках корів процес розщеплення нітратів відбувається інтенсивно [9] і через молоко вони виводяться з тваринного організму [10]. Відповідно, коли внутрішня мікрофлора шлунка ВРХ не справляється розщепити ці токсичні речовини, то їхня кількість у молоці може значно перевищувати норму. Як наслідок, молоко-сировина з наднормативним вмістом нітратів стає непридатним для використання, а це спричиняє значні сировинні і фінансові втрати. Тож актуальності набуває питання подальшого використання такого молока.

Власна мікрофлора молока-сировини є різноманітною, вона містить молочнокислі бактерії, які відіграють основну роль у процесі самосквашування молока. Дослідження впливу цього процесу на зміну кількості нітратів у молоці з наднормативним вмістом цих токсичних речовин покаже, чи власна мікрофлора молока-сировини проявляє денітрифікуючу здатність. Великий попит серед споживачів має кисломолочна продукція.

У пропонованому дослідженні зосереджена увага на йогурті і сметані класичного способу виробництва. Згідно з ДСТУ 4343 для виготовлення йогурту використовують закваску на основі *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* та *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, яку вносять у попередньо підготовлене молоко. Технологічний процес виробництва сметани ДСТУ 4418 передба-

час внесення закваски молочнокислих бактерій у попередньо підготовлені вершки (досліджувалась закваска на основі *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*). Проте, якщо у вихідній сировині є наднормативна кількість нітратів, необхідно з'ясувати, які ж стартові культури проявляють здатність до денітрифікації. Це дасть змогу визначити, чи готова продукція буде безпечною для вживання. На основі отриманих даних буде зроблено висновок стосовно необхідності пошуку шляхів вирішення цієї проблеми.

Мета дослідження: виявлення денітрифікуючої здатності власної мікрофлори сирого молока з наднормативним вмістом нітратів і заквасочних культур (*L. d. bulgaricus* та *S. Thermophiles*; *L. lactis*, *L. cremoris*, *S. diacetylactis*), що використовуються у традиційній технології виготовлення кисломолочних продуктів (йогурт і сметана).

Матеріали і методи. Дослідження проводились у науково-дослідній лабораторії кафедри харчової біотехнології і хімії ТНТУ імені Івана Пулюя.

Для експерименту у дослідженні проби молока і вершків штучно вносили попередньо підготовлені розчини KNO_3 , щоб досягти концентрації нітратів у дослідних зразках 10, 20 і 30 мг/кг (така концентрація обрана з урахуванням наших власних досліджень і згідно з даними літературних джерел [6; 11]).

Природне сквашування молока проводили за температури 30°C упродовж 72 год, а кількість нітратів визначали через 6—12, 24—48, 48—72 год. Внесення закваски для йогурту відбувалося за температури $40\text{—}42^\circ\text{C}$, що є оптимальним для росту термофільних молочнокислих бактерій. Внесення закваски для сметани проводили при температурі $27\pm 1^\circ\text{C}$, що є оптимальним для росту мезофільних молочнокислих бактерій.

Визначення вмісту нітратів проводили колориметричним методом із застосуванням кадмієвої колонки з подальшим фотометричним визначенням азосполук, що утворюються при взаємодії нітритів з ароматичними амінами (згідно з ГОСТ 32257-2013. Молоко и молочная продукция. Метод определения нитратов и нитритов).

Результати досліджень. На першому етапі наукового дослідження вивчався вплив природного сквашування молока-сировини з різним вмістом нітратів на динаміку денітрифікуючого процесу. Зміна вмісту нітратів під час природного сквашування молока наведена на рис. 1.

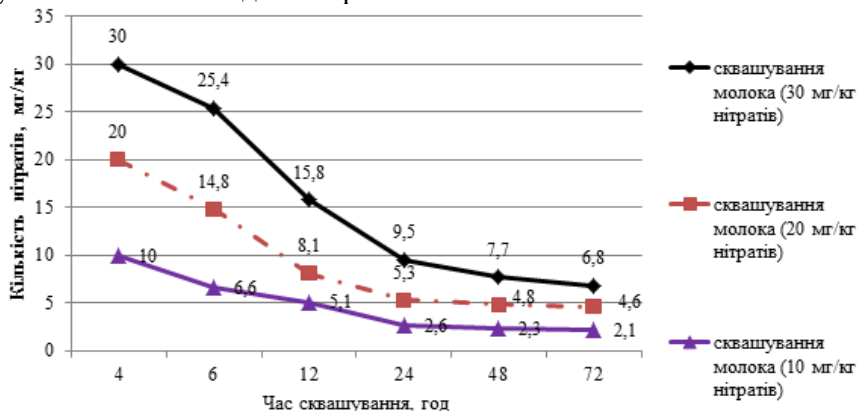


Рис. 1. Динаміка денітрифікуючого процесу під час природного сквашування молока сирого з початковим вмістом нітратів 30, 20 і 10 мг/кг

Як видно з рис. 1, спостерігається зменшення кількості нітратів у процесі сквашування молока (з початковим вмістом цих токсичних речовин 30 мг/кг) за температури 30°C через 12 год в середньому у 1,9 раза ($P<0,05$). Через 24 год вміст нітратів становив 9,5 мг/кг, тобто відбулося зменшення їхнього показника приблизно у 3,1 раза ($P<0,05$). Упродовж наступних двох діб відбулося зменшення вмісту нітратів тільки в 1,1—1,2 раза.

При такому ж сквашуванні молока з вмістом нітратів 20 мг/кг через 12 год вміст нітратів у ньому знизився приблизно у 2,5 раза ($P<0,05$). Через 24 год вміст нітратів становив 5,3 мг/кг (зменшення у 3,8 раза ($P<0,05$)). Упродовж наступних двох діб відбулося зниження вмісту нітратів тільки в 1—1,1 раза.

У третьому зразку молока з вмістом нітратів 10 мг/кг під час природного сквашування спостерігалась така динаміка зниження показника нітратів: через 12 год — у 2 рази, через 24 год — у 3,8 раза ($P<0,05$). Упродовж наступних двох діб відбулося зменшення вмісту нітратів в 1 — 1,1 раза.

Отже, відповідно до результатів дослідження встановлено, що процес денітрифікації у молоці природного сквашування найкраще відбувається в перші 24 год, що пов'язано з наявністю у молоці-сировині денітрифікуючих видів бактерій. Проте зменшення нітратів до норм європейського стандарту (5 мг/кг) відбувається в молоці із вмістом нітратів до 20 мг/кг. При вмісті нітратів більше 20 мг/кг цей показник не було досягнуто, очевидно, високий вміст нітратів гальмує здатність мікрофлори молока-сировини до денітрифікації.

На рис. 2 наведено результати досліджень зміни кількості нітратів під час виготовлення кисломолочного продукту (йогурту) з використанням закваски термофільних бактерій (*L. d. bulgaricus* та *S. thermophilus*). Виготовлення йогурту проводилось згідно з технологічними інструкціями резервуарним способом.

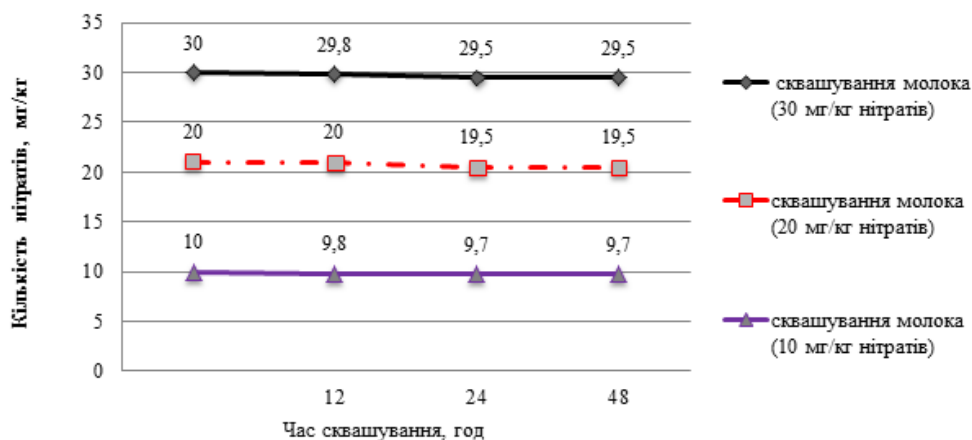


Рис. 2. Динаміка денітрифікуючого процесу при внесенні закваски бактерій *L. d. bulgaricus* та *S. thermophilus* для сквашування молока з початковим вмістом нітратів 30, 20, 10 мг/кг

Одержані результати, наведені на рис. 2, вказують, що під час сквашування молока протягом 12 — 24 год відбулося невірогідне зменшення вмісту нітратів у кінцевому продукті (на 1,6, 2,3 і 3% з початковим вмістом нітратів 30, 20 і 10 мг/кг вмістом нітратів відповідно).

При подальшому сквашуванні через 48 год денітрифікація не відбулась взагалі. Це, очевидно, пов'язано з тим, що молочнокислі бактерії закваски не проявляють денітрифікуючі властивості. Також виявлено, що пастеризація молока не вплинула на зменшення кількості нітратів.

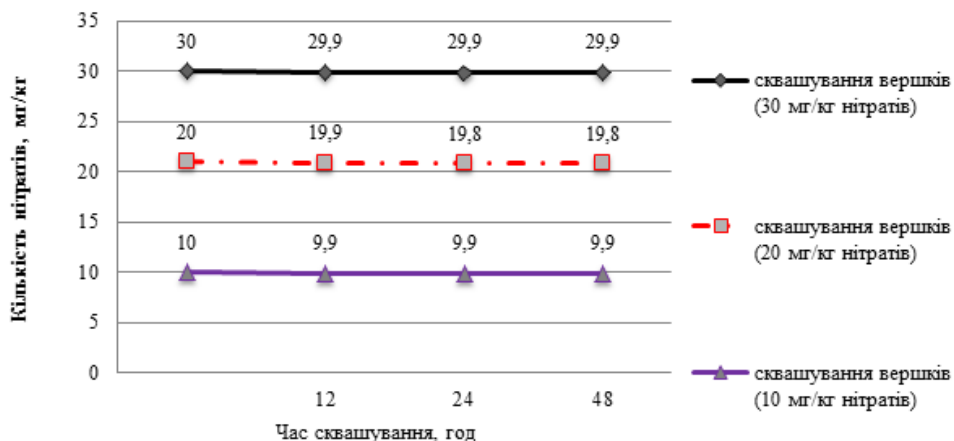
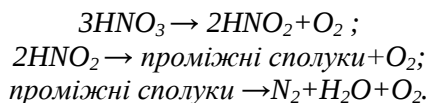


Рис. 3. Результати досліджень зміни кількості нітратів під час виготовлення кисломолочного продукту (сметани) з використанням закваски мезофільних бактерій (*L. lactis*, *L. cremoris*, *S. diacetylactis*)

Результати цих досліджень виявили, що під час процесу сквашування вершків протягом 24 год як такого зменшення вмісту нітратів не відбулось (до 1%). Кількість нітратів під час подальшого сквашування (48 год) залишилася без змін.

Закваски термофільних (*L. d. bulgaricus* та *S. thermophile*) і мезофільних бактерій (*L. lactis*, *L. diacetylactis*, *L. cremoris*) не проявляють денітрифікуючої здатності і тому не можуть зменшити наднормативну кількість нітратів у сировині до допустимих норм.

Отже, проведені дослідження, результати яких наведені на рис. 1—3, вказують на те, що процес денітрифікації сирого молока з різним вмістом нітратів активно проходить в перші 24 год лише під час природного сквашування молока за рахунок власної мікрофлори, яка проявляє денітрифікуючу здатність. Ми вважаємо, що процес денітрифікації проходить за класичною схемою, яка включає три фази [12]:



Класичні закваски, які вносять згідно з технологічними інструкціями при виробництві йогурту та сметани не проявляють денітрифікуючу здатність. Імовірною причиною є те, що в технології виготовлення йогурту і сметани молоко попередньо піддається термічній обробці і це призводить до загибелі денітрифікуючих бактерій сирого молока.

Перспектива подальших досліджень полягає в пошуку заквасочних культур, які б проявляли денітрифікуючу здатність і могли б застосовуватись у виробництві кисломолочних продуктів, зокрема йогурту і сметани.

Висновки. Встановлено, що власна мікрофлора молока-сировини проявляє активну денітрифікуючу здатність в перші 24 год. Однак за кількості нітратів у молоці понад 20 мг/кг власна мікрофлора молока-сировини не здатна денітрифікувати їх до європейських вимог 5 мг/кг.

Досліджено, що закваски з вмістом молочнокислих культур *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* та *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, які використовуються при виробництві йогурту і закваски з мікроорганізмами *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, що використовуються при виробництві сметани, не проявляють денітрифікуючу здатність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко Ю. Г. Медико-гігієнічна оцінка впливу нітратів води децентралізованих джерел водопостачання на стан здоров'я дітей раннього віку / Ю. Г. Бондаренко, В. В. Папач, Л. І. Білик // Довкілля та здоров'я. — 2011. — №4(59). — С. 23—26.
2. Смоляр В. І. Нітрати, нітроти та нітрозоеаміни у харчових продуктах і раціонах / В. І. Смоляр, О. І. Циганенко, Г. І. Петрашенко // Проблеми харчування. — 2007. — № 3. — С. 7—8.
3. Шелихов П. В. Исследование содержания нитратов в молоке дойных коров УНВАК ЛНАУ «Колос» / П. В. Шелихов, В. П. Левицкий // Безпека продуктів харчування та технологія переробки: збірник наукових праць ВНАУ. — 2013. — № 1(71). — С. 171—177.
4. Логачова Л. О. Вплив забруднення води нітратами на санітарну якість молока в умовах особистих господарств / Л. О. Логачова, Т. О. Тарасова, А. В. Шаболтас // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: зб. наук. праць. — Ветеринарні науки. — Харків, 2008. — Вип. 16(№41). — Том 1. — Частина 2. — С. 210—214.
5. Мусієнко М. Т. Вміст нітратів у молоці та метгемоглобіну в крові корів як показник поживної цінності зимових раціонів / М. Т. Мусієнко [та ін.] // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. — 2008. — Том 10, № 3(38). — Частина 1. — С. 162—164.
6. Писків С. І. Моніторинг вмісту нітратів у молоці / С. І. Писків, М. Д. Кухтин // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. — Львів. — 2018. — Том 20, № 85. — С. 41—45. doi: 10.15421/nvlvet8508.
7. Quijano L. Risk assessment and monitoring programme of nitrates through vegetables in the Region of Valencia (Spain) [Text] / L. Quijano, V. Yusà, G. Font, C. Allister, C. Torres, O. Pardo // Food and Chemical Toxicology. — 2017. — Vol. 100. — P. 42—49. doi: 10.1016/j.fct.2016.12.010.
8. Директива Ради 92/46 ЄЕС від 16 червня 1992 р. / Молоко та молочні продукти. Довідник у 3 томах. Том 3. Львів, Леонорм. 2000. С. 190—224.
9. Фізіологія сільськогосподарських тварин [Текст]: підручник для студ. вищих навч. закладів освіти III-IV рівнів акредитації зі спец. «Ветеринарна медицина» та «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва» / В. В. Науменко [та ін.]; За ред.: І. Д. Дерев'янка, А. С. Дячинського. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Центр навчальної літератури, 2009. — С. 161.
10. Миронова А. В. Обережно нітрати!!! / А. В. Миронова // Стандартизація. Сертифікація. Якість. — 2016. — № 3. — С. 60—61. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssia_2016_3_22.
11. Буряков Н. П. Влияние нитратов на микрофлору рубца и продуктивность животных / Н. П. Буряков // Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные. — Москва. — 2012. — №3. — С. 44.
12. Капрельянц Л. В. Технічна мікробіологія / Л. В. Капрельянц та ін. — Одеса, 2006. — С. 139.

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО СКИСНИЯ СЫРОГО МОЛОКА И ЗАВАСОЧНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЙОГУРТА И СМЕТАНЫ НА ПРОЦЕСС ДЕНИТРИФИКАЦИИ

С. И. Пыскив, Н. Д. Кухтын

Тернопольский национальный технический университет имени И. Пулюя

*В статье на основе литературных источников освещена проблема сверхнормативного содержания нитратов в молоке-сырье, которое поступает на переработку. Проведено определение динамики содержания нитратов во время самоскисания молока сырого, а также после внесения классических заквасок в предварительно подготовленное молоко и сливки согласно технологии изготовления йогурта и сметаны соответственно. В технологическом процессе производства йогурта с использованием закваски с содержанием бактерий *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* и в технологии производства сметаны на закваске мезофильных молочнокислых бактерий *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* определено, что процесс денитрификации не происходит. Подтверждена необходимость поиска закваски с содержанием молочнокислых микроорганизмов, которая оказывает денитрифицирующую способность при изготовлении кисломолочных продуктов, в частности йогурта и сметаны.*

Ключевые слова: молоко, йогурт, сметана, денитрификация, закваска, сквашивание.

УДК 664:87

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STARCH ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE DOUGH IN THE PRODUCTION OF CORN SNACKS

K. Rubanka, V. Terletska*National University of Food Technology***Key words:**

corn snacks,
dough,
starch,
structural and mechanical
properties

Article history:

Received 10.09.2019
Received in revised form
04.10.2019
Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

rubanka_ekaterina@
ukr.net

ABSTRACT

Among the ready-to-eat products, snacks take a leading place. This factor is explained by their high energy value and a wide range of tastes. In order to create the optimal structure of the dough piece and the high quality of the end-product, various types of starch are used in corn snack technology. This factor is explained by colloidal processes occurring as a result of the interaction of starch of corn flour with water, namely the appearance of swollen starch grains.

In order to optimize the process of production of corn snacks, the theoretical and practical aspects of the use of various types of starches as a structure-forming agent during kneading of the dough were studied. The study was carried out using an STS-1 Structurimeter.

Definitely, the use of tapioca and corn starches in the recipes of corn snacks is the most rational, due to the improved structural-mechanical properties of the dough. It was found that adding of starch in the composition of corn snacks in an amount of 1—7% increases the general deformation, plasticity and softness of the dough pieces: for corn starch — by 45%, 12%, 46%; for potato starch — by 44%, 10%, 48%; for tapioca starch — by 46%, 14%, 23%, respectively. The results can be explained by the ability of starch to bind and hold moisture unlimited as a result of the formation of colloidal solutions as a result of hydration of amylopectin. Therefore, increasing the starch in the system helps to increase the general deformation of the dough and, as a result, it is easier to change shape of the dough while it is under load, that is, it must be better processed.

It is confirmed that increasing of the dosage of starch facilitates the processing of dough pieces. In general, the highest values of the general deformation of the dough has the samples with the addition of tapioca starch (4,63%), less — potato (4,59%) and the lowest — corn starch (4,56%). It is proved that the most optimal amount of structure-forming agent in the recipe of corn snacks is 1% and 3% of corn and tapioca starch, respectively.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-8

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КРОХМАЛЮ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА У ВИРОБНИЦТВІ КУКУРУДЗЯНИХ СНЕКІВ

К. В. Рубанка, канд. тен. наук

В. А. Терлецька, канд. тен. наук

Національний університет харчових технологій

Досліджено теоретичні та практичні аспекти застосування різних видів крохмалів як структуроутворювачів у виробництві кукурудзяних снєків. Визначено, що застосування тапіокового та кукурудзяного крохмалів у рецептурі кукурудзяних снєків є найбільш раціональним, що обумовлено покращеними структурно-механічними властивостями тіста. Встановлено, що внесення крохмалю до складу кукурудзяних снєків в кількості від 1 до 7% сприяє підвищенню загальної деформації, пластичності та м'якості тістових заготовок: для кукурудзяного крохмалю — на 45%, 12%, 46%; для картопляного — на 44%, 10%, 48%; для тапіокового — на 46%, 14%, 23% відповідно. Підтверджено, що збільшення дозування кількості крохмалю сприяє полегшенню процесу оброблення тістових заготовок.

Ключові слова: кукурудзяні снєки, тісто, крохмаль, структурно-механічні властивості, структурометр.

Постановка проблеми. В сучасних умовах урбанізації життя готова до споживання продукція досить широко розповсюджена серед населення України і в світі загалом. Згідно з даними «Euromonitor International» частка виробництва снєків займає лідируюче місце і становить 50,7%. За міжнародною класифікацією до снєків відносяться: картопляні та кукурудзяні чипси, соломка, крекери, мюслі, хрусткі пластівці, горішки, сухофрукти, шоколадні батончики, насіння соняшнику тощо [1]. Проте цей вид продукції містить високу кількість жиру, що призводить до ожиріння та розвитку аліментарних хвороб.

Найпопулярнішим видом снєків є картопляні чипси. Їх частка у структурі ринку снєкової продукції у грошовому еквіваленті складає не менше 30% [1; 2]. Для виробництва чипсів використовують свіжу картоплю або різноманітні види борошна з додаванням крохмалю, барвників, ароматизаторів, підсилювачів смаку тощо. Використання різних видів картоплі та модифікованого крохмалю, різноманітних харчових добавок, а також інтенсивне обсмажування роблять чипси досить шкідливим продуктом харчування. Альтернативу картопляним чіпсам складають кукурудзяні — високоякісний натуральний продукт харчування, що має високі смакові властивості.

Кукурудзяні снєки мають ряд переваг: високі органолептичні показники за рахунок наявності кукурудзяного борошна; вони містять менше жиру, ніж картопляні чипси, тому їх калорійність на 58% нижча, ніж у картопляних; кукурудзяні снєки не містять природний глютен, що дає змогу споживати такі вироби хворим на целіакію; використання кукурудзяного борошна в технології снєків збагачує готовий продукт бета-каротином, вітамінами групи В (В₁, В₂, В₆, В₉), А, Е і РР, мінеральними речовинами (калій, кальцій, магній, залізо, фосфор і натрій), вони є цінним джерелом амінокислот — лізину і триптофану; присутність природних барвників каротиноїдів зеаксантину і лютеїну — забезпечує привабливий зовнішній вигляд [2—4].

Зважаючи на вищесказане, виробництво снєків на основі продуктів переробки кукурудзи є досить перспективним та актуальним на сьогодні, про що свідчить ряд публікацій [5 — 9]. З метою створення оптимальної структури тістової заготовки та високої якості готової продукції як структуроутворювачі в технології кукурудзяних снєків застосовують різні види крохмалю. До найбільш розповсюджених крохмалів, що застосовують у харчовій промисловості як в Україні, так і за кордоном, відносять коренеплідні — картопляний і тапіоковий; зернові — кукурудзяний, рисовий, пшеничний та різні види їх модифікацій.

Під час замішування тіста відбуваються колоїдні процеси взаємодії білкових речовин і крохмалю борошна кукурудзи з водою, що призводить до утворення структури тіста з набряклих білків і зерен зволоженого крохмалю. Здатність крохмальних зерен до поглинання вологи залежить від багатьох факторів: по-перше, від співвідношення амілози й амілопектину і ступеня полімеризації молекул зерна; по-друге, від кількості пошкоджених крохмальних зерен, наявності іонів металів, кислот та окислювачів; по-третє, від кількості води та її температури. Проте залишається недослідженим вплив різних видів крохмалю на структурно-механічні властивості тіста з кукурудзяного борошна. Це, у свою чергу, надасть можливість науково обґрунтувати технологічні заходи виробництва кукурудзяних снєків, застосування яких забезпечить високу якість готових виробів.

Метою дослідження є визначення впливу різних видів крохмалю на структурно-механічні властивості тіста у разі виробництва кукурудзяних снєків з подальшим встановленням його оптимального дозування.

Матеріали і методи. З метою встановлення впливу різних видів крохмалю на структурно-механічні властивості тіста досліджували їх структурно-механічні властивості (загальну деформацію, пружну деформацію, пластичність та м'якість тістових заготовок) за допомогою структурометра СТС-1 (м. Москва), використовуючи насадку сфера. Зразки тіста виготовляли з додаванням 1, 3, 5 та 7% кукурудзяного, картопляного та тапіокового крохмалю. Як контрольний зразок обрано рецептуру снєків без додавання крохмалю. Під час замішування тіста використовували воду температурою 80°C.

Результати дослідження. За результатами дослідження структурно механічних властивостей тіста (рис. 1—4) встановлено, що загальна деформація тістових заготовок із застосуванням крохмалів значно вища, ніж без їх використання, що, можливо, обумовлено появою клейстеру і, як наслідок, збільшенням в'язкості тіста.

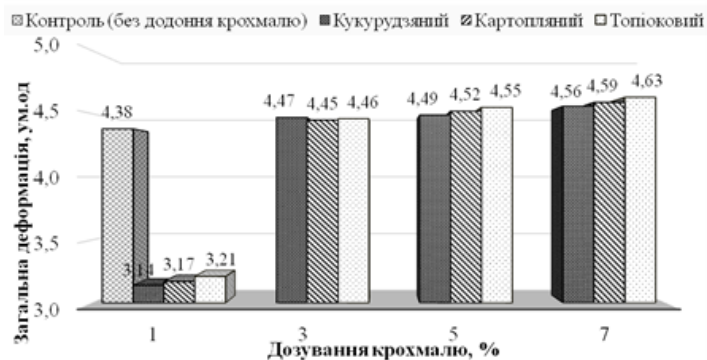


Рис. 1. Залежність загальної деформації тістових заготовок кукурудзяних снєків від кількості дозування різних видів крохмалю

Так, найбільші значення загальної деформації тіста має зразок з додаванням тапіокового крохмалю (4,63%), дещо менше (4,59%) картопляного, найменші значення має кукурудзяний крохмаль (4,56%). Це свідчить про те, що зразки з кукурудзяного крохмалю мають найменшу кількість амілопектину (75—72%) і менший ступінь полімеризації молекул, які складають крохмальне зерно, що зумовлює утворенню більш міцних зв'язків під час замішування тіста, а це, у свою чергу, супроводжується зменшенням зміни форми тіста у разі дії на нього навантаження.

До того ж збільшення дозування крохмалю призводить до підвищення показника загальної деформації тіста у всіх зразках. Так, у разі підвищення кукурудзяного крохмалю від 1 до 7%, загальна деформація збільшується на 45%, тапіокового — на 46%, а для картопляного на 44%, якщо порівняти з початковим значенням. Можливо, така закономірність пояснюється здатністю крохмалю зв'язувати та необмежено утримувати вологу в результаті утворення колоїдних розчинів внаслідок гідратації амілопектину [10]. Тому, чим більше крохмалю в системі, тим більші значення загальної деформації тіста і, як наслідок, тісто легше піддається зміні форми у разі впливу на нього навантаження, тобто підлягає кращому обробленню.

З огляду на це проведені дослідження з визначення пружної деформації тістових заготовок для приготування кукурудзяних снєків.

Результати досліджень представлені на рис. 2.

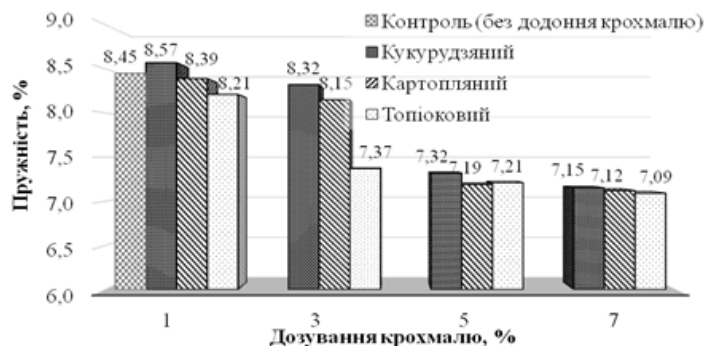


Рис. 2. Залежність пружної деформації тістових заготовок кукурудзяних снєків від кількості дозування різних видів крохмалю

Отримані результати підтверджуються значенням пружної деформації тіста. Так, підвищення у системі кількості крохмалю знижує його пружну деформацію, тобто тістова заготовка, після зняття дії зовнішніх сил на неї, в меншому ступені набуває початкових розмірів і форми, що також зумовлено більшою кількістю клейстеру в системі.

Для підтвердження отриманих даних проведено визначення оптимальної кількості дозування крохмалів у напівфабрикат для отримання продукту з оптимальними фізико-хімічними показниками. Результати досліджень представлені на рис. 3 та 4.

Зі збільшенням кількості клейстеру в тісті збільшується пластичність тістових заготовок, тобто здатність продукту до незворотних деформацій, але, можливо, це може призвести до погіршення міцності готових виробів.

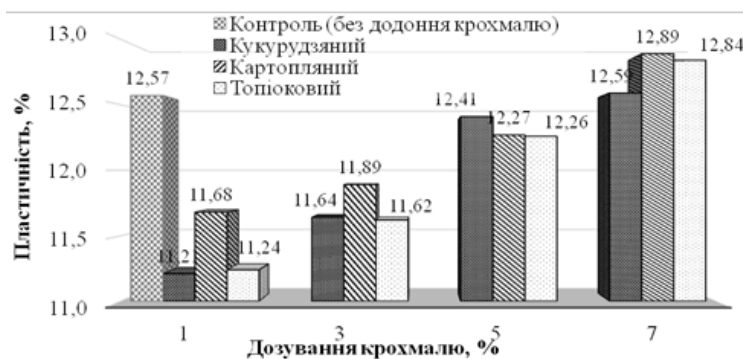


Рис. 3. Залежність пластичності тістових заготовок кукурудзяних снєків від кількості дозування різних видів крохмалю

Так, пластичність снєків, виготовлених з додаванням кукурудзяного крохмалю, зростає на 12%, з картопляного — на 10% та найбільше з тапіокового — на 14%, якщо порівняти з початковим значенням. Необхідно відмітити, що за зовнішнім виглядом у разі додавання 1% тапіокового та 3% або кукурудзяного отримували зразки, які найкраще піддавалися розкачуванню.

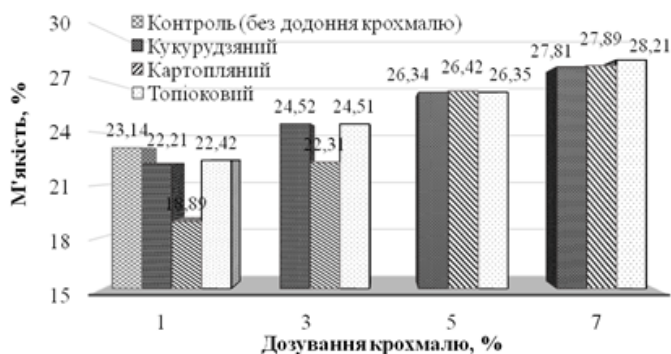


Рис. 4. Залежність м'якості тістових заготовок кукурудзяних снєків від кількості дозування різних видів крохмалю

За результатами дослідження м'якості тістових систем (рис. 4) визначено, що у разі збільшення в системі кількості крохмалю з 1% до 7% відбувається підвищення м'якості на 46% для кукурудзяного, на 48% — для картопляного, найменше для тапіокового — на 23%, що підтверджує і пояснює результати загальної деформації тіста.

Висновки. Загалом, відмінність структурно-механічних показників якості тіста, отриманого з додаванням різних видів крохмалю, свідчить про їх різну будову. Так, крохмаль коренеплідних культур (картопляний і тапіоковий) має більшу кількість амілопектину (для картопляного — 79...81%, для тапіокового — 83%) та вищу ступінь їх полімеризації за рахунок α -D-(1-6) зв'язків, що призводить до зростання значень граничної деформації, пластичності, м'якості та зниження пружної деформації тіста [11—13].

З огляду на результати аналізу структурно-механічних показників тіста дозування крохмалів у кількості 1% — для тапіокового та 3% — для кукурудзяного є найбільш оптимальним, оскільки сприяє полегшенню процесу оброблення тістових заготовок при мінімальних затратах на їх використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сергієнко А. Аналіз ринку чіпсів в Україні / А. Сергієнко // [Електронний ресурс] — Режим доступу : <https://koloro.ua/blog/>.
2. Калинина И. В. Современные подходы в технологии безопасной снековой продукции / И. В. Калинина, А. А. Руськина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. — 2014. — № 3, Том 2. — С. 29—36.
3. Борисова С. В. Производство снеков с использованием комплексных пищевых смесей / С. В. Борисова, М. М. Гизатуллина, З. Ш. Мингалева, О. А. Решетник // Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — № 2. — С. 162—164.
4. Шаззо А. А. Существующие и перспективные направления комплексной переработки зерна кукурузы / А. А. Шаззо, Е. А. Бутина, Е. О. Герасименко // Новые технологии. — 2011. — № 2. — С. 42—47.
5. Patent EP 0186245 A2, A23L 1/164 Process for making a corn chip with potato chip texture) / James Martein Bangel, David Joseph Bruno, Jr., Iii William Edwards Lee, Robert Lee White; the applicant The Procter & Gamble Company. — №19900226; to stated 12.12.1985; published by 26.06.1989. — P.10.
6. Patent US 5904947, № 08/473,890. FAT-FREE CORN CHIPS / J. M. Jensen, D. T. Biedermann, R.W. Johnston, R. D. Rece; the applicant The Procter & Gamble Company. — № 5904947; to stated 27.03.1996; published by 18.05.1999 year. — P. 11.
7. Agnieszka Wójtowicz. Influence of Buckwheat Addition on Physical Properties, Texture and Sensory Characteristics of Extruded Corn Snacks / Agnieszka Wójtowicz, Anna Kolasa, Leszek Mościcki // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. — 2013. — Volume 63, Issue 4. — PP. 239—244.
8. Alex A. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking / Alex A., Anton R., Gary Fulcher Susan, D.Arntfield // Food Chemistry. — 2009. — Volume 113, Issue 4. — PP. 989—996.
9. Fallor J. Y. Acceptability of Extruded Corn Snacks as Affected by Inclusion of Soy Protein / J. Y. Fallor, B. P. Klein, J. F. Fallor // Journal of Food Sciences. — 2006. — Volume 64, Issue 1. — PP. 185—188.
10. Vanessa D. Capriles. Effect of fructans based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks / Vanessa D. Capriles, Rosana A. M. Soares, Maria E. M. Pinto e Silva, José A. G. Arêas // International Journal Of Food Science And Technology. — 2009. — Volume 44, Issue 10. — PP. 1895—1901.
11. Гуськов К. П. Реология пищевых масс / К. П. Гуськов, Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин, Л. Н. Лунин. — М.: Пищевая пром-сть, 1970. — 208 с.
12. Пічкур В. Я. Дослідження реологічних властивосте різних видів модифікованого крохмалю // В. Я. Пічкур, О. В. Запотоцька, О. В. Грабовська, В. М. Ковбаса // Харчові технології. — 2012. — С. 35—36.
13. Запотоцкая Е. В. Исследование реологических свойств гидроколлоидов / Е. В. Запотоцкая, В. Я. Пичкур, А. В. Лысый и др. // Science and education a new dimension. — 2013. — Vol. 2. — С. 207—210.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРАХМАЛА НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА В ПРОИЗВОДСТВЕ КУКУРУЗНЫХ СНЕКОВ

К. В. Рубанка, В. А. Терлецкая

Национальный университет пищевых технологий

Исследованы теоретические и практические аспекты применения различных видов крахмалов как структурообразователя в производстве кукурузных снеков.

Определено, что применение тапиокового и кукурузного крахмалов в рецептуре кукурузных снеков является наиболее рациональным, что обусловлено улучшенными структурно механическими свойствами теста. Установлено, что внесение крахмала в состав кукурузных снеков в количестве от 1 до 7% способствует повышению общей деформации, пластичности и мягкости тестовых заготовок: для кукурузного крахмала — на 45%, 12%, 46%; для картофельного — на 44%, 10%, 48%; для тапиокового — на 46%, 14%, 23% соответственно. Подтверждено, что увеличение дозировки количества крахмала способствует облегчению процесса обработки тестовых заготовок.

Ключевые слова: кукурузные снеки, тесто, крахмал, структурно-механические свойства.

УДК: 678.078+664.68

RESEARCH OF MICROBIOLOGICAL STABILITY OF PASTERIZED SAUSAGE WITH HEM IRON

M. Polumbryk, V. Pasichnyi, T. Khorunzha, O. Moroz*National University of Food Technologies***Key words:**

poultry meat,
cooked sausages,
shelf life,
sodium nitrite,
heme iron

Article history:

Received 12.11.2019
Received in revised form
20.11.2019
Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

pasww1@ukr.net

ABSTRACT

The color of sausage products is of great importance, because the first thing that draws the consumer's attention is the appearance of the product. Obtaining the desired color of sausage products is mainly achieved through the use of sodium nitrite, which is used in the production of cooked sausages. The danger of using nitrites is that it is the secondary amines that are able to react with the nitrites of sausages to form nitrosamines.

At present, the urgent issue is to find technological solutions that would stabilize the quality of meat and meat products with reduced nitrite content used in the production of meat products. Current studies on the justification of recipes and technology of cooked sausage products with a reduction of the nitrite fraction in sausage formulations are presented. The question of the possibility of reducing the share of sodium nitrite due to the increase in the number of pasteurized sausages of color-forming pigment when using the blood of slaughtered animals is considered. Blood has a color-forming effect, when administered in the optimal amount, to achieve the characteristic color of sausage products. In addition, it has high nutritional and biological value. The influence of the use of this raw material component on the shelf life of pasteurized sausage products is shown.

Due to the fact that sodium nitrite acts as an inhibitor of the growth and development of microorganisms, molds and their formation of toxins, the effect of added blood of slaughtered animals in combination with sodium nitrite on the microbiological stability of cooked sausage products was investigated. According to the biomedical requirements, the growth dynamics of MAFAMN, BGKP, mold and yeast were investigated as indicators of sausage stability. Microbiological parameters were determined immediately after processing (background values) and pasteurization up to 45 days of storage.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-9

© М. М. Полумбрик, В. М. Пасічний, Т. О. Хорунжа, О. О. Мороз, 2019

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПАСТЕРИЗОВАНИХ СОСІСОК З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕМОВОГО ЗАЛІЗА

М. М. Полумбрик, канд. техн. наук

В. М. Пасічний, д-р техн. наук

Т. О. Хорунжа, аспірант

О. О. Мороз, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Нітрит натрію використовують при виробництві варених ковбас. Небезпека використання нітритів полягає в тому, що саме вторинні аміни здатні реагувати з нітритами ковбас, утворюючи нітрозаміни, тому пошук шляхів мінімізації використання нітритів у виробництві ковбас є актуальним завданням. Зважаючи на те, що нітрит натрію виступає інгібітором росту і розвитку мікроорганізмів, плісені й утворення ними токсинів, вивчено вплив доданої крові забійних тварин у поєднанні з нітритом натрію на мікробіологічну стабільність ковбасних виробів вареної групи. Згідно з медико-біологічними вимогами досліджено динаміку зростання МАФАМн, БГКП, плісняви та дріжджів як показників стабільності ковбас. Мікробіологічні показники визначали одразу після завершення обробки, готові ковбасні вироби — до пастеризації (фонові значення) та після пастеризації до 45 діб зберігання.

Ключові слова: м'ясо птиці, варені ковбаси, термін зберігання, нітрит натрію, гемове залізо.

Постановка проблеми. У сучасних технологіях м'ясопереробної галузі одним із актуальних напрямів є впровадження у виробництво цільових біологічно активних добавок широкого спектра фізіологічної дії на організм людини [1].

Оскільки одним з найбільш поширених захворювань є захворювання серцево-судинної системи, зокрема залізодефіцитна анемія. Пошук технологічних рішень, щодо збагачення гемовим залізом повноцінних харчових продуктів є актуальним завданням [2]. Для лікування і профілактики залізодефіцитних станів застосовуються як лікарські форми препаратів заліза, так і харчові продукти, збагачені залізом [3].

Дедалі більшого поширення в профілактиці і лікуванні залізодефіцитних станів знаходять біологічно активні добавки, що містять залізо в легкозасвоюваній двовалентній формі на основі крові забійних тварин, яка містить гемове залізо в складі гемоглобіну, що легко засвоюється, порівняно з негемовим [3]. Негемове залізо знаходиться у вільній іонній формі — двовалентного (Fe^{2+}) чи тривалентного (Fe^{3+}) заліза. Значна частина харчового заліза — негемове (міститься переважно в овочах). Ступінь його засвоєння нижчий, ніж гемового, та залежить від низки факторів. Із продуктів харчування засвоюється тільки двовалентне негемове залізо [4].

У зв'язку з вищевикладеним актуальною проблемою є оцінка антибактеріальної активності нітриту натрію та визначення граничної дози його зниження у м'ясопродуктах при використанні крові в рецептурах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняних літературних джерелах показано, що використання крові та добавок із неї в складі м'ясопродуктів зумовлене спорідненістю функціональних властивостей крові і її технологічних

властивостей. Відомі розробки добавок із використанням крові і її фракцій, які рекомендовані для заміни частини яєчних продуктів у рецептурах [7].

Крім того, додавання гемового заліза в ковбасні вироби дасть змогу зменшити залишкову концентрацію нітритів у готовому продукті. У літературних джерелах обговорюється питання застосування природних пігментів крові для забарвлення м'ясних продуктів, в тому числі при їх використанні як природних колорантів [5].

Використання природних пігментів крові для забарвлення м'ясних продуктів є актуальним, оскільки дасть змогу зменшити застосування нітритів і нітратів під час виробництва м'ясопродуктів. Проте нітрит натрію не тільки фіксує колір м'ясопродуктів, але й впливає на їх мікробіологічну стабільність.

Дослідженнями доведено здатність нітритів гальмувати розвиток різних видів мікроорганізмів (сальмонел, золотистого стафілококу, плісняви) та токсиноутворення, зокрема накопичування афлотоксину [6].

Дослідження формування споживчих властивостей харчових продуктів, що містять неорганічне і гемове залізо, проводилися як за кордоном, так і в нашій країні. Слід відмітити праці Л. Н. Шатнюк, В. Ю. Міщика, Н. В. Тимошенко, І. В. Леріної, В. В. Євлаш, у яких розроблено асортимент залізовмісних дієтичних добавок і харчових продуктів з їх використанням, а також доведено, що до найбільш ефективних способів корекції дефіциту заліза в організмі людини слід віднести оптимізацію раціонів харчування з введенням у них продуктів з гемовим залізом.

Традиційні варені ковбасні вироби мають обмежений термін зберігання і вимагають особливих умов зберігання, на відміну від м'ясних пастеризованих сосисок, які завдяки проведеній пастеризації мають набагато довший термін реалізації [8; 9]. У сучасних технологіях пакування набуває поширення новий клас виробів традиційного асортименту, який завдяки використанню фізичних методів впливу на сировину, підвищеним вимогам до організації санітарної безпечності виробництва дає змогу виробляти продукцію подовженого терміну зберігання [9].

При належному підборі рецептурних збагачувачів, цільовому використанню суміжних продуктів, що отримують при виробництві м'яса, в поєднанні з біологічними збагачувачами тваринного походження можливо розробляти нові повноцінні ковбасні вироби цільового призначення. Проте до теперішнього часу питання про широкомасштабне виробництво такого типу харчових продуктів не вирішене і потребує пошуку раціональних технологій використання білоквмісних добавок на основі переробки зокрема і молока [10].

Особливого значення набули розробки з використанням методів, які стабілізують форми гемоглобіну у співвідношенні, що забезпечує певні функціонально-товарознавчі властивості: консистенцію, смак, аромат, вміст власне гему заліза, низьку калорійність, а особливо колір, що свідчить про збереження форм гемоглобіну. Це сприятиме розширенню асортименту продуктів лікувально-профілактичного призначення не лише в м'ясній промисловості, а й, наприклад, у борошняній [11].

Метою дослідження є вивчення впливу крові забійних тварин на мікробіологічну чистоту ковбасних виробів.

Матеріали і методи. У процесі досліджень вивчалась зміна показників ковбасних виробів вареної групи — сосисок пастеризації з різним типом теплового оброблення з і без додаткової пастеризації. Як контроль використовували сосиски Молочні. Для модельних сосисок проведено визначення фізико-хімічних і мікро-

біологічних показників. У процесі досліджень визначали загальний вміст мікроорганізмів і наявність бактерій групи кишкової палички. Відбір точкових проб для бактеріологічного аналізу проводили згідно з ГОСТ 26669-85. Суть методу визначення загальної кількості мікробів в 1 г продукту полягає в здатності мезофільних аеробних і факультативних анаеробних мікроорганізмів рости на живильному середовищі агар при температурі $37\pm 5^\circ\text{C}$ з утворенням колоній, видимих при п'ятикратному збільшенні. Мікробіологічні дослідження проводили шляхом приготування мазків — відбитків з поверхні і глибоких шарів продукту, посівів на живильне середовище з подальшим вивченням отриманої культури і підрахунком кількості мікробних тіл в 1 г продукту (ГОСТ 10444.15-94).

Так само проводили бактеріоскопічне дослідження, для якого проби відбирали з поверхні із середини продукту.

Для досліджень було виготовлено чотири види сосисок: «Молочні» (контроль), «Курячі», «Традиційні», «Свинні» (згідно з ДСТУ 4436:2005 «Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні. Загальні технічні умови») [9]. У дослідних зразках як кольоростабілізуючий компонент використаний нітрит натрію (0,003%) у поєднанні з харчовою кров'ю від забою свиней (3% від маси фаршу), що дало змогу знизити традиційну кількість нітритів на 35...45%. Як додатковий смаковий компонент за рекомендаціями [10] додавали олеорезин коріандру. Контрольний зразок виготовляли відповідно до промислової рецептури одночасно з тієї ж сировини за аналогічною технологічною схемою; як кольоростабілізуюча речовина вони містили тільки нітрит натрію в кількостях, передбачених рецептурою (0,005%).

У дослідних і контрольних зразках визначали загальну кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), вміст бактерій групи кишкової палички — БГКП, плісняви та дріжджів. Методи мікробіологічного аналізу відповідали ГОСТ 9958-81 «Вироби ковбасні та продукти з м'яса». Ковбаси кожного виду досліджені в трикратній повторюваності.

Результати досліджень. Згідно з планом дослідження було розроблено рецептури зразків, що відрізнялись видом використовуваної м'ясної сировини та кількістю доданої харчової крові та вологи. Рецептури дослідних зразків представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Рецептури дослідних зразків

Сировина	«Курячі», %		«Традиційні», %	«Свинні», %	Контроль, %
Номер зразка, №	1	2	3	4	5
Червоне м'ясо курчат-бройлерів	60	70	—	—	—
Біле м'ясо курчат-бройлерів	—	—	20	20	20
Кров свиняча (джерело гемового заліза)	3	3	3	3	—
Суша молочна сироватка	5	5	5	5	5
Білковий стабілізатор	10	10	10	10	10
Концентрат соєвого борошна	2	2	2	2	2
Свинина н/ж	20	10	60	60	63

Продовження таблиці 1.

Номер зразка, №	1	2	3	4	5
Спеції і харчові добавки, у % до основної сировини					
Сіль, олеорезини спецій	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Нітрит натрію	0,003	0,003	0,003	0,003	0,005
Лід	25	20	20	20	20
Емулілн	1	1	1	1	1

Бактеріологічному дослідженню піддавали сосиски безпосередньо після виготовлення та охолодження, а також після додаткового теплового оброблення — пастеризації. Пастеризацію сосисок проводили з використанням скляної тари.

На етапах зберігання за температури 4—6°C безпосередньо після виготовлення, в пастеризованих сосисках на 14 і 45 добу визначали зміну МАФАНм, БГКП, кількість пліснявих грибів і дріжджів. Дані про мікробіологічні показники сосисок при зберіганні наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Мікробіологічні показники дослідних зразків сосисок

№	МАФАНм, КУО/г	БГКП в 1 г	Пліснява, КУО/г	Дріжджі, КУО/г
До пастеризації				
1	1,2·10 ²	Не виявл.	2,5·10 ¹	4,0·10 ²
2	1,1·10 ³	Не виявл.	<10	3,0·10 ¹
3	5,3·10 ²	Не виявл.	<10	<10
4	7,8·10 ²	Не виявл.	<10	9,5·10 ¹
5	5,6·10 ²	Не виявл.	<10	<10
Після 14-денного зберігання (пастеризовані)				
1	3,0·10 ¹	Не виявл.	<10	<10
2	3,5·10 ¹	Не виявл.	<10	<10
3	2,0·10 ¹	Не виявл.	<10	<10
4	3,0·10 ¹	Не виявл.	<10	<10
5	4,0·10 ¹	Не виявл.	<10	<10
Після 45-денного зберігання (пастеризовані)				
1	1,3·10 ³	Не виявл.	<10	<10
2	2,3·10 ²	Не виявл.	<10	<10
3	2,6·10 ²	Не виявл.	<10	<10
4	2,5·10 ³	Не виявл.	<10	<10
5	2,8·10 ³	Не виявл.	<10	<10

Як видно з даних, наведених у табл. 2, загальна кількість мікроорганізмів у 1 г дослідного зразка одразу після виготовлення до пастеризації знаходилася в межах санітарно-бактеріологічних вимог згідно з ДСТУ 4436:2005.

У результаті додаткової термообробки навіть на 14-у добу зберігання кількість мікроорганізмів, плісняви та дріжджів залишалася в межах санітарно-бактеріологічних вимог.

Через 45 діб зберігання в дослідних зразках мікробне число дещо перевищувало допустимі значення для сосисок пастеризованих, зокрема для зразків № 1 та № 4.

У контрольному зразку сосисок без використання гемового заліза кількість МАФАНм була в тому ж порядку значень, що і в дослідних рецептурах з використанням гемового заліза. Дані, наведені в табл. 2, свідчать, що в дослідних і

контрольних зразках ковбас усіх видів залишкова мікрофлора відповідала санітарним вимогам протягом 14 діб.

Патогенна мікрофлора: сальмонели та спорові сульфїтредукуючі анаероби в жодній із проб у досліджувані терміни зберігання виявлені не були (табл. 2).

Можна провести певне порівняння зразків сосисок з використанням м'яса птиці і свинини та харчової крові від забою свиней як джерела гемового заліза та традиційних видів сосисок без використання харчової крові.

Як видно з даних табл. 2, використання харчової крові в рецептурах сосисок пастеризованих практично не має негативного впливу на їхню мікробіологічну стабільність у процесі зберігання при зниженні частки нітриту натрію в складі рецептур. За органолептичними показниками досліджені зразки мали відмінність у межах статистичної похибки.

Висновки. Встановлена можливість зменшення частки нітриту натрію в складі рецептур сосисок пастеризованих при використанні харчової крові від забою свиней без погіршення органолептичних показників виробів.

Доведено відсутність негативного впливу на мікробіологічну стабільність зменшення частки нітриту натрію в рецептурах пастеризованих сосисок при використанні в складі рецептур харчової крові як джерела гемового заліза.

ЛІТЕРАТУРА

1. Власенко В. В. Використання нізину у виробництві варених ковбас функціонального спрямування / В. В. Власенко, І. Г. Власенко // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Харчові технології. — 2016. — № 18, № 2. — С. 21—26.
2. Кузьминская Е. В. Алиментарные факторы риска возникновения железодефицитных состояний у молодых женщин: дис. канд. мед. наук: 20.09.01. Е. В. Кузьминская — К.: 2001. — 160 с.
3. Noori S. Effects of daily consumption of honey solution on hematological indices and blood levels of minerals and enzymes in normal individuals / S. Noori // Journal of medicinal food. — 2003. — Vol. 6, № 2. — P. 135—140.
4. Thomas R. Iron Deficiency in Athletes / R. Thomas // American Journal of Lifestyle Medicine. — 2012. — № 6(4). — P. 319—327.
5. Пасічний В. М. Стабілізація технологічних властивостей ферментованого рису для виробництва м'ясопродуктів / В. М. Пасічний, І. В. Кремешна // Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій. — 2004. — № 15. — С. 49—50.
6. Святненко Р. С. Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів / Р. С. Святненко, А. І. Маринін, О. В. Кочубей-Литвиненко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. — Вінниця, 2017. — № 1(96) — С. 125—130.
7. Пат. 70714 Україна, МПК (2006) А 23 J 3/00. Білково-жирова емульсія з кров'ю / Пасічний В. М., Кремешна І. В., Жук І. З.; заявник і патентовласник Нац. універ. харч. технологій. — № 20031212348; заявл. 25.12.2003; опубл. 27.08.2007. Бюл. № 13, 2007.
8. Хорунжа Т. Сосиски пастеризовані з підвищеним вмістом гемового заліза / Т. Хорунжа, В. Пасічний, А. Маринін, Р. Святненко, О. Мороз // НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології — 2019 — 21(91). — РР. 43—47. doi: 10.32718/nvlvet-f9108.
9. Lee J. J. Sterilization effects of avian influenza virus and newcastle disease virus in chicken muscle and organs dependent on autoclaving time / J. J. Lee // Korean Journal of Veterinary Public Health — 2011. — Режим доступу: http://lib.rda.go.kr/newlib/adlib_en/index.html.

10. Howe P. Dietary intake of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids: contribution of meat sources / P. Howe, B. Meyer, S. Record, K. Baghurst // Nutrition. — 2006. — 22(1). — PP. 47—53. doi: 10.1016.j.nut.2005.05.0099.

11. Baldassini Welder Angelo Bioanalytical methods for the metalloproteomics study of bovine longissimus thoracis muscle tissue with different grades of meat tenderness in the Nellore breed (Bos indicus) / Welder Angelo Baldassini // Food chemistry. — 2015. — 169. — PP. 65—72.

12. ДСТУ 4436:2005. Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні. Загальні технічні умови. — Увед. 2006-07-01. — К.: УкрНДНЦ, 2006. — 32 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПАСТЕРИЗИРОВАННЫХ СОСИСОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕМОВОГО ЖЕЛЕЗА

В. Н. Пасичный, М. Н. Полумбрик, Т. О. Хорунжая, Е. А. Мороз

Национальный университет пищевых технологий

Нитрит натрия используют при производстве вареных колбас. Опасность использования нитритов заключается в том, что именно вторичные амины способны реагировать с нитритами колбас, образуя нитрозамины, поэтому поиск путей минимизации использования нитритов в производстве колбас остается актуальной задачей. Несмотря на то, что нитрит натрия выступает ингибитором роста и развития микроорганизмов, плесени и образование ими токсинов, при выполнении работы исследовали влияние добавленной крови убойных животных в сочетании с нитритом натрия на микробиологическую стабильность колбасных изделий вареной группы. Согласно медико-биологическим требованиям исследовали динамику роста МАФАМн, БГКП, плесени и дрожжей как показателей стабильности колбас. Микробиологические показатели определяли сразу после завершения обработки (фоновые значения) и после пастеризации до 45 суток хранения.

Ключевые слова: мясо птицы, вареные ковбасы, сроки хранения, нитрит натрия, гемовое железо.

УДК 664.664.34+615.015

SPECIALIZED EXTRUSION PRODUCTS FOR PREGNANT AND LACTATING WOMEN AND THEIR BIOLOGICAL STUDIES

N. Laptenok*State enterprise "Beltekhnohleb", Minsk, Republic of Belarus***E. Tumar, V. Laptsevich***Institute of Bioorganic chemistry of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***L. Melnikova***Belarusian state University of Economics***Key words:**

extrusion products,
glycemic index,
nutrition of pregnant
women

Article history:

Received 16.10.2019

Received in revised form
15.11.2019

Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

laptenokn@mail.ru

ABSTRACT

The diet of a pregnant and lactating woman should meet her physiological needs. A variant of rationalization of nutrition of pregnant and lactating women is the use of specialized foods enriched with protein, vitamins and minerals, in order to correct eating disorders, creating diets balanced by most nutritional factors .

Justification of recipes and technology of production of food products for specialized purposes is an urgent task, the solution of which can make a certain contribution to the rehabilitation of the population. This problem can be solved by using inulin, pectin substances, dietary fibers, vitamins, macro -, microelements, balanced proteins with appropriate functional properties and obtained from various types of vegetable materials.

The purpose of this work was to study the effect on the body of laboratory animals of eating specialized extrusion products for pregnant and lactating women, developed by the State enterprise "Beltekhnohleb", to assess their safety and effectiveness.

Samples of specialized extrusion products were studied: calcium-enriched extrusion loaves, salt-free extrusion loaves and inulin extrusion loaves, which were introduced into the diet of both non-pregnant and pregnant Wistar female rats.

Morphometric parameters (dynamics of body weight, absolute and relative weight of organs), hematological and biochemical parameters at day 30 of extrusion products consumption were evaluated in animals and their glycemic index was determined by day 15 of observation (second half of pregnancy).

The obtained data allow us to evaluate the studied extrusion products as safe and recommend extrusion loaves enriched with calcium, salt-free extrusion loaves and extrusion loaves with inulin, having a low glycemic index, for dietary nutrition of both pregnant and lactating women, and for other categories of the population.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-10

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЕКСТРУЗІЙНИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ВАГІТНИХ І ЖІНОК-ГОДУВАЛЬНИЦЬ

Н. С. Лаптенюк

Державне підприємство «Белтехнохлеб», м. Мінськ, Республіка Білорусь

Е. М. Тумар, ст. н. с.

В. В. Лапцевич, м. н. с.

Інститут біоорганічної хімії НАН Білорусі, м. Мінськ, Республіка Білорусь

Л. А. Мельникова, канд. біол. наук

УО «Білоруський державний економічний університет», м. Мінськ, Республіка Білорусь

У статті розглянуто важливість спеціалізованого харчування для здоров'я вагітних і жінок-годувальниць та наведено результати досліджень впливу нових видів екструзійних виробів на організм вагітних і невагітних щурів. Вивчення гематологічних і біохімічних параметрів, глікемічного індексу показало безпеку і ефективність використовуваних продуктів.

Ключові слова: екструзійні продукти, глікемічний індекс, харчування вагітних жінок.

Постановка проблеми. Харчування — найважливіший фактор зовнішнього середовища, який визначає правильний розвиток, стан здоров'я і працездатність людини [1]. В останні роки намітилася стійка тенденція до використання харчування для профілактики і лікування. У світовому масштабі йде постійна робота зі створення нових продуктів функціонального харчування, що володіють як широким спектром застосування, так і вузькою спрямованістю на конкретний орган, систему, захворювання.

Рациональне харчування є одним з важливих умов сприятливого перебігу і результату вагітності, пологів, розвитку плода і новонародженого. Харчовий раціон вагітної і жінки-годувальниці повинен відповідати її фізіологічним потребам.

Варіантом раціоналізації харчування вагітних і жінок-годувальниць є використання спеціалізованих харчових продуктів, збагачених білком, вітамінами і мінеральними речовинами, з метою корекції порушень харчування, створення раціонів, збалансованих за більшістю харчових факторів [2; 3].

Розробка спеціалізованих продуктів, у тому числі для цієї категорії населення, — один з основних векторів реалізації Державної політики у сфері здорового харчування і збереження здоров'я населення Республіки Білорусь [4].

Основні гігієнічні принципи розробки спеціалізованих продуктів для вагітних і жінок-годувальниць стосуються:

- забезпечення необхідної, науково обґрунтованої харчової та енергетичної цінності готової продукції відповідно до фізіологічних особливостей організму;
- використання сировини та компонентів, допущених для використання у зазначених продуктах;
- забезпечення гігієнічної безпеки продовольчої сировини, компонентів і готової продукції.

Обґрунтування рецептур і технології виробництва харчових продуктів спеціалізованого призначення є актуальним завданням, вирішення якого здатне внести певний внесок в оздоровлення населення. Ця задача може бути вирішена шляхом

використання інуліну, пектинових речовин, харчових волокон, вітамінів, макро-, мікроелементів, збалансованих білків, що володіють відповідними функціональними властивостями.

Мета дослідження: вивчення впливу на організм лабораторних тварин спеціалізованих екструзійних продуктів, розроблених Державним підприємством «Белтехнохлеб», з метою оцінки їх безпеки та ефективності для вагітних і жінок-годувальниць.

Матеріали і методи. Робота виконувалася як на невагітних, так і на вагітних щурах-самцях Wistar (n=40) у віці 3 місяців середньою масою 200—250 г, що містилися в контрольованих умовах навколишнього середовища (18—22°C і відносній вологості повітря 50—70%) зі світловим режимом 12 годин світла і 12 годин темряви і режимом провітрювання, що забезпечує зміну 15 обсягів приміщення в годину в клітках по 5 осіб в кожній.

Досліджувалися зразки спеціалізованих екструзійних продуктів для вагітних і жінок-годувальниць: хлібці екструзійні, збагачені кальцієм (хлібці 1), хлібці екструзійні безсолкові (хлібці 2) і хлібці екструзійні з інуліном (хлібці 3), які вводили в раціон щурів, як заміники батона, доза якого на невагітну самицю становить 8 г/особину, на вагітну або годуючу самицю — 12 г/особина протягом 30 діб.

У тварин оцінювалися морфометричні параметри: динаміка маси тіла, абсолютна і відносна маси органів. Тварини зважували на вагах Scout Pro моделі SPU202. Виділялися такі органи: серце, селезінка, нирки, печінка. Органи зважували на електронних вагах Explorer моделі EP214. Вагові індекси органів розраховувалися як відношення маси органів до маси тіла тварин у відсотках. Відносні коефіцієнти маси (ВКМ) внутрішніх органів розраховувалися за виразом [5]:

$$ВКМ = \frac{\text{маса органу}}{\text{маса тварини}} \cdot 100. \quad (1)$$

На 15 добу експерименту (друга половина вагітності) у тварин всіх груп визначався глікемічний індекс розроблених продуктів харчування [6]. Для цього після 18-годинної харчової депривації визначали концентрацію глюкози в крові, потім протягом 30 хв тваринам згодовувалися досліджувані зразки при вільному доступі (з розрахунку 30 г на особину).

Забір крові здійснювався через 30, 60, 90 і 120 хв індивідуально з бічної хвостової вени. Рівень глюкози вимірювався за допомогою глюкометра «Fine-Test» (Корея). Розрахунок площ під глікемічними кривими, отриманими в ході досліджень, проводився за загальноприйнятою методикою з використанням такої формули:

$[(A+B/2) \cdot t] + [(B+C) \cdot T/2] + [(C+D) \cdot T/2]$ — якщо остання точка глікемії (120 хв) розташовувалася вище за базальний рівень;

A, B, C, D — приріст глюкози крові, тобто різниця між її базальним рівнем і змістом у дослідженні проміжки часу (t, T) [6].

На підставі отриманих даних розраховувався глікемічний індекс розроблених продуктів харчування.

На 30 добу експерименту, після евтаназії і забору крові, досліджувалися гематологічні та біохімічні параметри. Аналіз показників цільної крові здійснювався на гематологічному аналізаторі «Humasaut» (Німеччина), а біохімічних показників сироватки крові — на автоматичному аналізаторі «Hitachi-902» (Швейцарія) за допомогою наборів реагентів «P. Z. Company» (Польща).

Статистична обробка проводилася з використанням пакета аналізу даних Excel. Для кожної групи обчислювалося середнє значення (M), стандартне відхилення (SD). Достовірність оцінювалася за критерієм t-Ст'юдента з урахуванням дисперсії (F-тест), параметричного статистичного методу за допомогою програми Statistica 6,0. Відмінності вважалися достовірними при $p < 0,05$.

Результати досліджень. Результати досліджень стану фактичного харчування жінок фертильного віку, вагітних і жінок-годувальниць, забезпеченості їх організму харчовими речовинами, свідчать про те, що раціони значної частини жінок характеризуються недостатньою енергетичною цінністю, зниженим вмістом загальних білків (в тому числі тваринного походження), рослинних жирів, вуглеводів, вітамінів А (в ретиноловому еквіваленті), С, вітамінів групи В, кальцію, магнію, заліза, інших мікронутрієнтів порівняно з рекомендованими рівнями.

Світовий досвід підтверджує, що вживання спеціалізованих харчових продуктів відіграє важливу роль в оптимізації харчування вагітних і жінок-годувальниць, сприяє збереженню здоров'я матері і дитини.

У Республіці Білорусь, як і в інших країнах, виробництво спеціалізованих хлібобулочних виробів для харчування вагітних і жінок-годувальниць, яке дає змогу проводити адекватну корекцію наявних порушень структури харчування і дисбалансу харчових речовин в раціоні, є сьогодні актуальним завданням.

Хлібобулочні вироби, незважаючи на відносне зниження їх споживання, займають важливе місце в раціоні більшості населення.

У зв'язку з цим фахівцями Державного підприємства «Белтехнохлеб» розроблена лінійка хлібців екструзійних «Мамин вибір» для харчування вагітних і жінок-годувальниць, з більш жорсткими вимогами до інгредієнтного складу і харчової цінності: без додавання кухонної солі або зі зниженим вмістом кухонної солі, цукру; виключення облігатних алергенів, спецій, консервантів, синтетичних барвників, ароматизаторів, кондитерських жирів, маргаринів, у складі яких можуть бути транс-ізомери жирних кислот; використання тільки дозволених у дитячому харчуванні харчових добавок; збільшеного вмісту харчових волокон, кальцію.

Проведено біологічні дослідження розроблених екструзійних хлібців.

Встановлено, що вживання в їжу екструзійних продуктів (хлібці 1, 2, 3) не чинить негативного впливу на загальний стан, вид волоссяного покриву, поведінкові реакції лабораторних тварин.

Порівняльні клінічні лабораторні випробування як на невагітних, так і на вагітних щурах та самках-годувальницях Wistar показали, що тривале введення в раціон досліджених видів екструзійних продуктів протягом 30 діб не викликає патологічних порушень ваги тварин, не впливає на індекси внутрішніх органів (серце, печінка, нирки, селезінка) (табл. 1, 2).

Таблиця 1. Відносна маса органів невагітних щурів-самиць Wistar після 30 діб споживання екструзійних продуктів

Група тварин, n=5	Відносні коефіцієнти маси внутрішніх органів,%, (M $\pm$ SD)			
	серце	печінка	селезінка	нирки
Контроль	2,77 $\pm$ 0,36	32,38 $\pm$ 1,89	1,85 $\pm$ 0,36	5,01 $\pm$ 0,35
Хлібці 1	2,87 $\pm$ 0,32	31,29 $\pm$ 2,40	1,99 $\pm$ 0,28	4,97 $\pm$ 0,36
Хлібці 2	2,98 $\pm$ 0,40	30,38 $\pm$ 3,31	2,01 $\pm$ 0,35	5,54 $\pm$ 0,62
Хлібці 3	2,75 $\pm$ 0,41	32,34 $\pm$ 3,92	1,79 $\pm$ 0,48	5,50 $\pm$ 0,42

Таблиця 2. Відносна маса органів щурів-самиць Wistar після пологів і періоду вигодовування новонароджених після 30 діб споживання екструзійних продуктів

Група тварин, n=5	Відносні коефіцієнти маси внутрішніх органів,%, (M±SD)			
	серце	печінка	селезінка	нирки
Контроль	3,45±0,47	35,02±2,30	2,26±0,03	5,86±0,70
Хлібці 1	3,77±0,69	37,41±7,94	1,84±0,34	5,93±0,53
Хлібці 2	3,08±0,55	33,93±3,03	1,63±0,45	5,02±0,29
Хлібці 3	3,01±0,21	31,64±4,30	1,84±0,39	5,41±0,26

Встановлено відсутність шкідливої дії тривалого вживання досліджуваних продуктів харчування на гемопоєз і властивості крові. Оцінка біохімічних показників крові показала позитивний вплив на нормалізацію обмінних процесів в організмі.

На підставі проведених досліджень виявлено, що групи тварин, які отримували екструзійні продукти — хлібці 1, 2, 3, відрізнялися низьким значенням глікемічного індексу.

У самиць щурів (невагітних і вагітних), що піддавалися харчовій депривації в експерименті, мінімальні показники рівня глюкози в крові на тлі позбавлення їжі досягали 4,8 ммоль/л, а максимальні — 5,3 ммоль/л, що відповідає фізіологічним нормам [7].

Встановлено, що у тварин, як невагітних, так і вагітних, які отримували екструзійні продукти хлібці 1, 2, 3, приріст глікемії був нижчим порівняно з контрольними групами (рис. 1, 2).

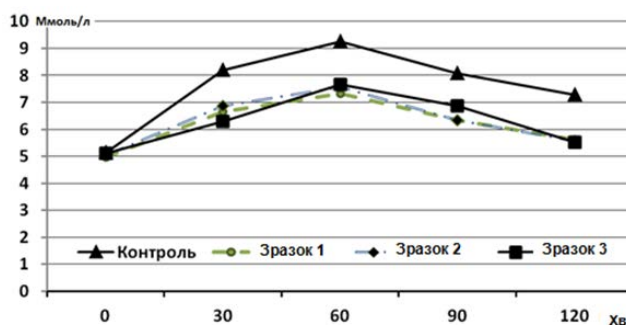


Рис. 1. Зміна рівня глюкози в крові тварин (невагітних самиць щурів Wistar) при споживанні екструзійних продуктів протягом 15 діб: зразок 1 — хлібці 1, зразок 2 — хлібці 2, зразок 3 — хлібці 3

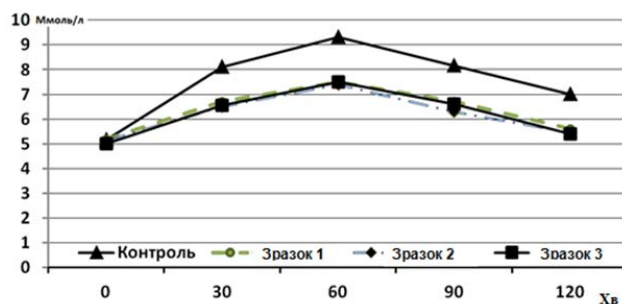


Рис. 2. Зміна рівня глюкози в крові тварин (вагітних самиць щурів Wistar) при споживанні екструзійних продуктів протягом 15 діб: зразок 1 — хлібці 1, зразок 2 — хлібці 2, зразок 3 — хлібці 3

У табл. 3 і 4 представлені розраховані відносні глікемічні індекси досліджуваних зразків.

Таблиця 3. Відносний глікемічний індекс досліджуваних екструзійних продуктів при вживанні в їжу невагітними самицями щурів Wistar до 15 діб експерименту

Група тварин, n=5	Інтеграл (площі кривої)	Глікемічний індекс
Контроль	6520	100,0
Хлібці 1	3707	56,94±0,84
Хлібці 2	3518	54,20±2,87
Хлібці 3	3376	52,12±0,28

Таблиця 4. Відносний глікемічний індекс досліджуваних екструзійних продуктів при вживанні в їжу вагітними самицями щурів Wistar до 15 діб експерименту

Група тварин, n=5	Інтеграл (площі кривої)	Глікемічний індекс
Контроль	6479	100,0
Хлібці 1	3425	53,38±2,77
Хлібці 2	2950	50,02±1,67
Хлібці 3	2825	51,67±1,62

Проведені розрахунки дають змогу зробити висновок про те, що всі досліджувані зразки екструзійних продуктів можна віднести до продуктів з низьким глікемічним індексом. Найкращим ефектом впливу володіли хлібці 2 і 3 з найменшим глікемічним індексом.

Зроблений висновок узгоджується з низкою рекомендацій з харчування, в яких значення ≥ 70 характеризують продукти з високим, 55—69 — середнім — ≤ 55 — низьким глікемічним індексом.

Одним із показників, що свідчать про стан вуглеводного обміну, є коефіцієнт Бодуена, або гіперглікемічний коефіцієнт, — відношення вмісту глюкози через 30 хв (береться найбільша величина) до її рівня натще (у нормі не вище 1,7). Стан вуглеводного обміну і величини коефіцієнта Бодуена в усіх вивчених групах тварин відповідали фізіологічним значенням (табл. 5, 6) [8].

Таблиця 5. Гіперглікемічний коефіцієнт досліджуваних екструзійних продуктів при вживанні в їжу невагітними самицями щурів Wistar до 15 діб експерименту

Група тварин, n=5	Гіперглікемічний коефіцієнт
Контроль	1,59±0,01
Хлібці 1	1,34±0,02
Хлібці 2	1,36±0,01
Хлібці 3	1,23±0,04

Таблиця 6. Гіперглікемічний коефіцієнт досліджуваних екструзійних продуктів при вживанні в їжу вагітними самицями щурів Wistar до 15 діб експерименту

Група тварин, n=5	Гіперглікемічний коефіцієнт т
Контроль	1,57±0,03
Хлібці 1	1,31±0,02
Хлібці 2	1,28±0,01
Хлібці 3	1,30±0,01

Висновки. Отримані дані дають змогу оцінити вивчені екструзійні продукти як безпечні та рекомендувати хлібці екструзійні, збагачені кальцієм, хлібці екструзійні безсольові і хлібці екструзійні з інуліном, що володіють низьким глікемічним індексом, для дієтичного харчування вагітних і жінок-годувальниць та для інших категорій населення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Липатов Н. Н. Методология проектирования продуктов питания с необходимым комплексом показателей пищевой ценности М. М. Липатов, И. А. Рогов // Известия вузов. Серия "Пищевая технология". — 1987. — № 2. — С. 9—15.
2. Георгиева А. В. Проблемы оптимизации питания беременных и кормящих женщин и роль специализированных молочных продуктов отечественного производства / А. В. Георгиева, М. В. Гмошинская // вопросов. детской диетологии. — 2007. — Т. 5, № 4. — С. 15—20.
3. Спиричев В. Б. Медико-биологические подходы к разработке специализированных продуктов питания для беременных и кормящих женщин / В. Б. Спиричев [и др.] // вопросов. детской диетологии. — 2005. — Т. 3, № 3. — С. 41—47.
4. Концепция государственной политики в области здорового питания населения Республики Беларусь на период до 2020 года. — Минск, 2015.
5. Dorrel D. G. Irrigation, fertilizer, harvest dates and storage effects on the reducing sugar and fructose concentrations of Jerusalem artichoke tubers / D. G. Dorrel, B. B. Chubey // Can J. Plant Sci. — 2007. — № 57. — P. 591 — 596.
6. Williams C. M. Inulin and oligofructose: effects on lipid metabolism from human studies / C. M. Williams, K. G. Jackson // Br. J. Nutr. — 2008. — Vol. 87. — Suppl. 2. — P. 261—264.
7. Селятицкая В. Г. Активность адреноректорной системы у крыс с высокой и низкой устойчивостью к диабетогенным действиям аллоксана / В. Г. Селятицкая, Н. А. Пальчикова, Н. В. Кузнецова // Фундаментальные исследования. — 2011. — № 3. — С. 142—147.
8. Волчегорский И. А. Инсулинпотенцирующее действие антиоксидантов при экспериментальном сахарном диабете / И. А. Волчегорский, Л. Рассохина, И. Ю. Мирошниченко // Проблемы эндокринологии. — 2010. — № 2. — С. 27—35.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЭКСТРУЗИОННЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ БЕРЕМЕННЫХ И КОРМЯЩИХ ЖЕНЩИН

Н. С. Лапенок

Государственное предприятие «Белтехнохлеб», г. Минск, Республика Беларусь

Е. М. Тумар, В. В. Лапцевич

Институт биоорганической химии НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Л. А. Мельникова, канд.биол.н.

УО «Белорусский государственный экономический университет», г. Минск, Республика Беларусь

В статье рассмотрена важность специализированного питания для здоровья беременных и кормящих женщин и представлены результаты исследований влияния новых видов экструзионных изделий на организм беременных и небеременных крыс. Изучение гематологических и биохимических параметров, гликемического индекса показало безопасность и эффективность используемых продуктов.

Ключевые слова: экструзионные продукты, гликемический индекс, питание беременных женщин.

УДК [664. 871:635.64]-048.78

RESEARCH OF STRUCTURAL-MECHANICAL PROPERTIES OF TOMATO SAUCE

O. Benderska, A. Bessarab, V. Shutruk*National University of Food Technologies***Key words:**

tomato products,
tomato seeds,
canning,
sauces,
rheology,
food technology

Article history:

Received 02.10.2019
Received in revised form
26.10.2019
Accepted 10.11.2019

Corresponding author:

olga_benderska@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the state and prospects of the production of new types of sauces and finds that tomatoes are a promising raw material for industrial processing, due to the content of a large proportion of biologically active substances and the possibility of cultivation in all regions of Ukraine.

Previous studies have proven the value of tomato production waste — seeds and baking. Analysis of existing data has found that tomato seeds contain a wide range of biologically active substances that may be suitable for use in food technology. Based on the analysis, it is proposed to use secondary products of processing tomatoes for the production of food semi-finished products.

In order to improve the existing technologies of tomato processing, it is proposed to use the semi-finished product “Tomato seed paste” for enrichment of tomato sauces as an additional source of protein substances, PUFAs and pectic substances. In order to determine the influence of the developed semi-finished product on the quality characteristics of the sauces obtained, it is proposed to determine the structural and mechanical properties of sauces based on tomatoes of different degrees of ripeness, with the addition of tomato seed paste and a moisture bond of new products

In the food industry in recent years there is a tendency to steadily increase the production of various types of tomato products, especially sauces and seasonings. Applying different sauces to the same dish gives it a new taste

Studies have shown that adding 8% tomato seed paste leads to an increase in initial viscosity of 1.7 times and a fluidity of 2.75 times. By increasing the amount of tomato paste added to 11%, the structural and mechanical properties of the finished product change significantly: its viscosity increases 2.46 times — from 147 Pa · s to 363 Pa · s.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-11

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТОМАТНИХ СОУСІВ

О. В. Бендерська

О. С. Бессараб, канд. техн. наук

В. В. Шутюк, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано стан і перспективи виробництва нових видів соусів на основі томатопродуктів як перспективної сировини для промислової переробки, з огляду на вміст значної частки біологічно активних речовин та можливості вирощування у всіх регіонах України. Запропоновано використання вторинних продуктів переробки томатів для виробництва харчових напівфабрикатів. Об'єктом подальших досліджень обрано зразки томатних соусів із додаванням розробленого напівфабрикату «Паста із томатного насіння». Дослідження підтвердили можливість промислового перероблення томатного насіння. Проаналізовано структурно-механічні властивості томатних соусів із додаванням напівфабрикату на основі насіння томатів. При збільшенні кількості доданої пасту із томатного насіння до 11% істотно змінюються структурно-механічні властивості готового продукту: його в'язкість зростає у 2,46 раза — з 147 Па·с до 363 Па·с

Ключові слова: томатопродукти, насіння томатів, консервування, соуси, реологія, харчові технології.

Постановка проблеми. Харчування є основним чинником для забезпечення організму людини енергією, структурними елементами і функціональною діяльністю. Зважаючи на негативний вплив навколишнього середовища, з кожним роком виникає все більша необхідність виробництва харчових продуктів, збагачених натуральними інгредієнтами, які можуть корегувати дефіцит мікронутрієнтів, підвищувати стійкість організму до несприятливих зовнішніх умов [1].

Найбільш повноцінним природним джерелом біологічно активних речовин (БАР) є фруктова та овочева сировина і продукти її переробки. Значний сегмент ринку харчової продукції на основі цієї сировини займають соуси.

У харчовій промисловості в останні роки зберігається тенденція до стабільного збільшення виробництва різних видів томатопродуктів, особливо соусів і харчових приправ. Аромат соусів і часто їх гострий смак збуджують апетит, а отже, підвищують засвоюваність їжі. Така дія соусів зумовлена наявністю прянощів, приправ та інших добавок. Застосування різних соусів до однієї і тієї ж страви надає їй нового смаку [2].

Зацікавленість щодо соусної продукції обумовлена високими споживними властивостями, засвоюваністю, можливістю регулювати хімічний склад, харчову та біологічну цінність, калорійність основної страви.

Соуси — це продукти з визначеними структурно-механічними властивостями, досягти яких можна завдяки застосуванню певних технологічних прийомів переробки рослинної сировини або використанню добавок природного походження (структуроутворювачів, підкислювачів).

Томатний соус є багатим джерелом органічних кислот, цукрів і вітамінів. Його висока харчова цінність зумовлена тим, що томати здатні не тільки зберігати, але й примножувати свої корисні властивості під час термічної обробки.

В асортименті соусної продукції, що представлена на українському ринку, більшість соусів містять консерванти, штучні стабілізатори та емульгатори, які згубно впливають на організм людини й не рекомендовані для щоденного споживання. У працях Л. М. Тележенко, О. О. Гринченко, П. П. Пивоварова, М. І. Пересічного, Л. П. Малюк, М. Ф. Кравченка та інших науковців розглядались наукові основи використання фруктової та овочевої сировини в технології соусів. Однак більшість досліджень спрямована на використання структуроутворювачів, поліпшувачів смаку, які найчастіше потребують додаткової обробки, що знижує поживну цінність і підвищує собівартість [2; 3; 5; 6].

Актуальним є пошук рослинної сировини з високими технологічними властивостями та можливість використання її у виробництві харчових продуктів для розширення асортименту, поліпшення органолептичних, структурно-механічних і функціонально-технологічних показників.

Особливу увагу викликають соуси на основі продукції овочівництва, які є незамінним джерелом важливих речовин — вітамінів, поліфенолів, мінеральних та інших речовин, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Томати як первинна сировина активно переробляються, формуючи широкий асортиментний спектр продукції, центральне місце в якому поряд з кетчупами займають томатні соуси.

Дослідження хімічного складу томатів показали, що основними їх складовими, які визначають структурні властивості готових соусів є значний вміст полімерів, що володіють вологоутримувальною здатністю: геміцелюлози, целюлози, лігніну, пектинових речовин, білків. Наявність клітковини зумовлює рихлість і в сукупності з протопектином, пентозанами і білковими сполуками — високу вологоутримувальну здатність м'якоті томатів [7].

З метою вдосконалення існуючих технологій перероблення томатів запропоновано використання напівфабрикату «Паста із томатного насіння» для збагачення томатних соусів як додаткового джерела білкових речовин поліненасичених жирних кислот і пектинових речовин. Для встановлення впливу розробленого напівфабрикату на якісні характеристики отриманих соусів запропоновано визначити структурно-механічні властивості соусів на основі томатів різного ступеню стиглості із додаванням пасти томатного насіння [4].

Метою дослідження є встановлення впливу розробленого напівфабрикату «Паста із томатного насіння» на якісні показники томатних соусів при розробленні комплексної технології переробки томатів.

Для цього на кафедрі технології консервування Національного університету харчових технологій розроблено технологію виробництва напівфабрикату «Паста із томатного насіння» та досліджено вплив її дозування на реологічні характеристики томатних соусів.

Матеріали і методи. Об'єктом досліджень обрано соуси на основі томатів технічної та біологічної зрілості. Визначення структурно-механічних властивостей готових соусів проводили з використанням ротаційного віскозиметра Реотест-2. Для цього готували 100 см³ досліджуваного зразка, перемішували систему та відбирали 30 см³, витримують 20...30 хв при кімнатній температурі. Досліджувана система

рівномірно розподіляється в зазорі між коаксіальними циліндрами (зовнішнім і внутрішнім). Реєстрували швидкість обертання рухомого циліндра за допомогою потенціометра [8].

Органолептичні показники визначено дегустаційною оцінкою з використанням профільного аналізу — основні показники розкладено на низку специфічних характеристик: колір (рівномірність, насиченість, натуральність); запах (типовість, насиченість, чистота); смак (виразність, чистота); консистенція (однорідність, ніжність).

Результати досліджень. Томатний соус є складною фізико-хімічною системою, представленою рідкою фракцією зі суспендованою в ній твердою нерозчинною фазою. Промислове виробництво томатних соусів, зазвичай, включає серію етапів концентрування з метою досягнення кінцевих органолептичних показників. Хоча в останні роки стали використовуватися нові методи концентрування, такі як зворотний осмос, виморожування і центрифугування з подальшим концентруванням пульпи, томатні соуси все ще широко виготовляються із застосуванням вакуум-випарних установок. [2; 3].

Відповідно до класифікації реологічних мас, томатні соуси відносяться до неньютонівських рідин, які характеризуються псевдопластичними властивостями.

Якість томатної маси може дуже значно змінюватись залежно від таких факторів, як сорт використаних томатів, розмір сита фільтра, і найважливіше — температура попередньої обробки.

До факторів, які визначають реологічні властивості томатного соусу із додаванням пасти томатного насіння, можна віднести кількість доданої пасти з томатного насіння, температуру, рН середовища, концентрації хлориду натрію, сахарози та спецій, що входять до складу соусів. Тому з метою підбору оптимальних рецептурних співвідношень досліджено вплив кількості пасти з томатного насіння на структурно-механічні властивості готових соусів.

Оптимальне дозування пасти з томатного насіння встановлювали шляхом визначення в'язкості, текучості й органолептичних характеристик готових соусів. Структурно-механічні властивості визначали за допомогою ротаційного віскозиметра Реотест-2.

За контрольний зразок обрано соус томатний без додавання пасти томатного насіння із вмістом сухих речовин 18% відповідно вимогам ДСТУ 8017:2015 «Консерви. Соуси овочево-фруктові структуровані. Технічні умови».

Пасту томатного насіння вносили до соусу в кількостях 3, 5, 8 і 11%, додавали спеції та пряні трави відповідно до розроблених рецептур та уварювали до кількості сухих речовин у готовому продукті 18%.

Результати досліджень в'язкості й текучості, приготовлених та охолоджених до температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ соусів, наведено на рис. 1, початкове та кінцеве значення в'язкості й текучості соусів — у табл. 1.

Реологічні криві показують суттєве збільшення показників ефективної в'язкості соусів у разі збільшення в системі концентрації пасти томатного насіння. Це можна пояснити наявністю в пасті томатного насіння значного вмісту білків і пектину та геміцелюлози, що володіють вологозв'язувальною здатністю.

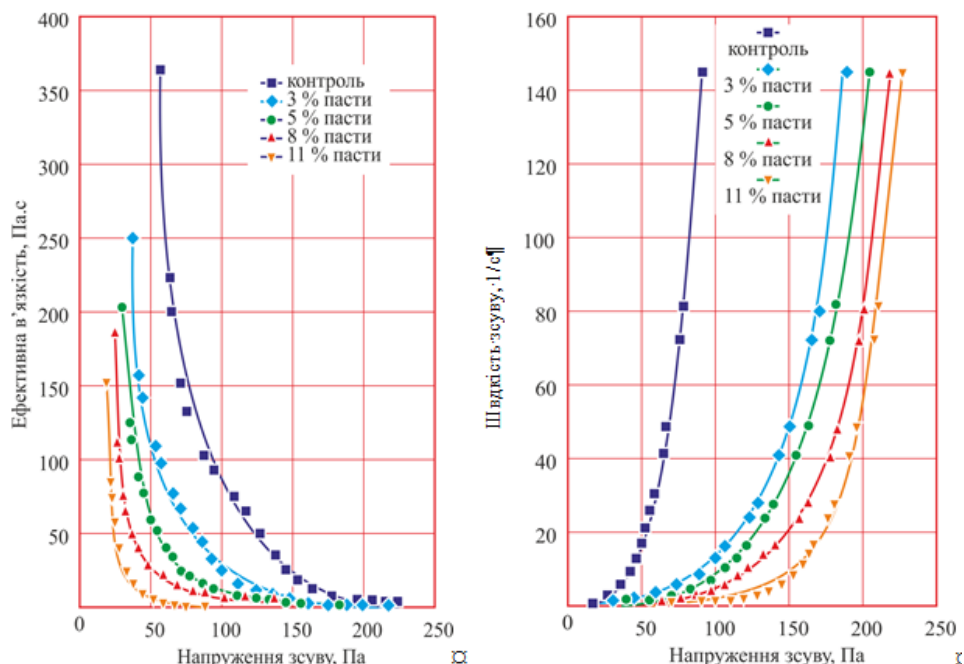


Рис. 1. Залежність напруження зсуву та швидкості зсуву від ефективної в'язкості томатних соусів

Таблиця 1. Початкова та кінцева в'язкість і текучість соусів з додаванням пасти томатного насіння

Зразок соусу	В'язкість, Па·с		Текучість, Па	
	початкова	кінцева	початкова	кінцева
Контроль	147,84	0,63	15,11	91,43
3%	181,88	1,30	30,32	189,5
5%	204,62	1,41	34,11	204,66
8%	250,09	1,50	41,69	219,06
11%	363,77	1,55	60,64	226,64

Додавання 3% пасти томатного насіння збільшує початкову в'язкість в 1,23 раза порівняно з контролем — з 147,84 Па·с до 181,88 Па·с. При цьому також відбувається і збільшення текучості соусів в 2 рази (з 15,11 Па до 30,32 Па). Збільшення дозування пасти з томатного насіння до 5% призводить до збільшення початкової в'язкості в 1,38 раза й текучості в 2,26 раза. При цьому зберігаються структурну властивості, максимально наближені до контрольного зразку.

При внесенні пасти із томатного насіння в кількостях 8% спостерігали збільшення початкової в'язкості в 1,7 раза й текучості в 2,75 раза.

При збільшенні кількості доданої пасти із томатного насіння до 11% істотно змінюються структурно-механічні властивості готового продукту: його в'язкість зростає у 2,46 раза — з 147,84 Па·с до 363,77 Па·с. Поряд зі збільшенням в'язкості відбувається і збільшення плинності соусів, що пояснюється особливістю хімічного складу отриманих соусів, зокрема внесенням разом із пастою томатного від 2 до 11% білкових речовин і збільшенням вмісту пектинових речовин. Поряд із збага-

ченням хімічного складу томатного соусу за рахунок додавання пасти із томатного насіння також спостерігали зміни органолептичних показників готового продукту.

Результати визначення органолептичних показників томатного соусу із додаванням пасти із томатного насіння наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Органолептичні показники соусів томатних з додаванням пасти з томатного насіння

Контроль	3%	5%	8%	11%
Приємний аромат і смак томатів. Консистенція соусу рідка, текуча, жовто-багряного забарвлення	Виражений аромат і смак томатів з слабким перцевим присмаком. Консистенція соусу в'язка, текуча, жовтого забарвлення	Чітко виражений аромат і смак томатів з приємним перцевим присмаком. Консистенція соусу в'язка, текуча, жовтого забарвлення	Виражений гіркуватий присмак. Готовий соус має густу в'язку консистенцію рівномірного солом'яно-жовтого забарвлення	

Можна зробити висновок, що використання в рецептурах розроблених соусів пасти з томатного насіння в кількостях 3...5% дає змогу збільшити початкову в'язкість в 1,23...1,38 рази. При цьому істотних змін консистенції, якщо порівняти з контролем, не спостерігали — соус залишався досить рідким і зберігав початкові структурні характеристики.

При додаванні пасти томатного насіння в кількості 8% спостерігали збільшення початкової в'язкості в 1,7 рази. Соус набував приємного перцевого присмаку без стороннього аромату. Консистенція отриманого соусу ставала масткою, але зберігала незначну текучість.

Із додаванням 11% пасти з томатного насіння спостерігали значне підвищення в'язкості, що ускладнювало подальше дозування томатного соусу. При проведенні органолептичної оцінки встановлено наявність яскраво вираженого гірко-присмаку. Тому оптимальним можемо вважати використання пасти з томатного насіння в кількості 8%, що дає змогу збагатити склад томатного соусу та його біологічну цінність, при цьому зберігаються структурні й органолептичні показники, притаманні класичним томатним соусам.

Висновки. Попередні дослідження довели цінність відходів томатного виробництва — насіння та вичавок. У результаті аналізу даних встановлено, що томатне насіння містить широкий спектр біологічно активних речовин, які можуть бути придатними для використання в технологіях харчових продуктів. З метою вдосконалення існуючих технологій перероблення томатів досліджено використання напівфабрикату «Паста із томатного насіння» для збагачення томатних соусів як додаткового джерела білкових речовин поліненасичених жирних кислот і пектинових речовин.

Встановлено, що додавання пасти із томатного насіння в кількостях 8% призводить до збільшення початкової в'язкості в 1,7 рази й текучості в 2,75 рази. При збільшенні кількості доданої пасти із томатного насіння до 11% істотно змінюються структурно-механічні властивості готового продукту: його в'язкість зростає у 2,46 рази — з 147,84 Па·с до 363,77 Па·с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Benderska O. Research of fatty acid composition of tomato seeds / O. Benderska, A. Bessarab, V. Shutyuk // Technology audit and production reserves. — 2018. — Vol 4, No 3(42). — P. 24—27.
2. Намсараева З. М. Использование функциональных соусов на предприятиях питания / З. М. Намсараева, Н. И. Хамнаева // Успехи современного естествознания. — 2014. — Том 3, № 11. — С. 8—15.
3. Бендерська О. В. Удосконалення технології томатних соусів із додаванням пасти із насіння томатів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.13 «Технологія консервування і охолодження харчових продуктів» / Ольга Вячеславівна Бендерська; НУХТ. — Київ, 2019. — 23 с.
4. Bosona T., Gebresenbet G. Life cycle analysis of organic tomato production and supply in Sweden. Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 196. P. 635—643 doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.087>
5. Стеценко Н. Розроблення способу виробництва дієтичної добавки на основі насіння томатів, гарбуза та льону / Н. Стеценко, Л. Мошенська // Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 28—29 травня 2015 р. — К.: НУХТ, 2015. — С. 50—51.
6. Гаджиева А. М. Использование инновационных технологий комплексной переработки томатного сырья / А. М. Гаджиева, М. С. Мурадов, Г. И. Касьянов, Э. Ш. Исмаилов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 100. — С. 358—377.
7. Ксенз М. В. Рецептуры соусов на основе белково-томатной масляной пасты/ Ксенз М. В., Бухтоярова З. Т., Калманович С. А., Бугаец Н. В. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 4. — С. 45—46.
8. Бурова Т. Е. Анализ и контроль пищевых производств / Под ред. А. Л. Ишевского. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. — 144 с.
9. Тихомирова Н. А. Технология продуктов функционального питания. — М.: Франтера, 2002. — 462 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОМАТНЫХ СОУСОВ

О. В. Бендерская, А. С. Бессараб, В. В. Шутюк
Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализированы состояние и перспективы производства новых видов соусов и установлено, что томаты являются перспективным сырьем для промышленной переработки благодаря содержанию значительной части биологически активных веществ и возможности выращивания во всех регионах Украины. Рассмотрена возможность переработки томатных семян и проанализированы структурно-механические свойства томатных соусов с добавлением полуфабриката на основе семян томатов. Объектом дальнейших исследований избраны образцы томатных соусов с добавлением разрабатываемого полуфабриката «Паста из томатных семян». Исследования подтвердили возможность промышленной переработки томатных семян. При увеличении количества добавленной пасты с томатных семян до 11% существенно меняются структурно-механические свойства готового продукта: его вязкость возрастает в 2,46 раза — с 147 Па·с до 363 Па·с.

Ключевые слова: *томатопродукты, семена томатов, консервирование, соусы, реология, пищевые технологии.*

УДК 330.341.1:634.51

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF DESTRUCTION OF THE WALNUT SHELLS

O. Negrey, A. Ukrainets*National University of Food Technologies*

Key words:

walnut,
crushing,
shell destruction

Article history:

Received 04.09.2019
Received in revised form
12.10.2019
Accepted 23.11.2019

Corresponding author:

o.negrei7@gmail.com

ABSTRACT

The article provides information regarding the peculiarities of the destruction of the walnut shells in the conditions of interaction of walnuts with parallel plates and when replacing the support plate by a ring with a chamfer.

An important factor in influencing the crushing process is the humidity of the shells, for which 15% of the highest quality of the processes. The obtained graphical and mathematical interpretations of experimental studies led to the conclusion that the crushing of walnuts was limited by the force of their interaction between the parallel plates. This option corresponds to the case of axial stress state in the presence of contact stresses. The transition to cases of flat and even spatial stress is predicted in improving the quality of grinding processes.

In further studies it is advisable to deepen the information on the processes of crushing in the modes of bulk stress states, in which there is a possibility to achieve the value of the reactions of the reference planes in excess of the external force action. In new systems, it is desirable to achieve the limitations of the radial deformations of the walnut shells.

Dependencies on the dynamics of the destruction of shells of nuts indicate the existence of four stages corresponding to brittle materials. This number of steps corresponds to the following provisions. In the first stage, local concentrations of stresses with energy costs of about 5% of the total amount are reached. The deformations of the second stage correspond to energy costs of about 65%, and the third stage is accompanied by the formation of macro-cracks of shells with 25% of energy costs. The fourth stage corresponds to the destruction of energy consumption at the level of 4—5%. In this case, the absolute deformation at the time of destruction should be 4 ... 5 mm.

The dependence on the deformations and fractures of the shells of nuts with the approximation of the optimal humidity up to 13—16% is shown.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-12

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ОБОЛОНОК ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

О. В. Негрей

А. І. Українець, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено інформацію про особливості руйнування горіхових оболонок в умовах взаємодії плодів з паралельними пластинами і при заміні опорної пластини кільцем з фаскою. Головне завдання технології полягає в одержанні якомога більшої кількості цілих ядер горіхів. Показано, що сучасні теорії руйнування твердих матеріалів і тіл практично не можуть бути застосовані при описі процесів дроблення оболонок горіхів, як і теорії міцності, викладені в курсах опору матеріалів. Завдання збереження форми і цілісності ядер становить основну суперечність технології. У подальших дослідженнях доцільно поглибити інформацію про процеси лушення в режимах об'ємних напружених станів, за яких існує можливість досягти значення реакцій опорних площин, що перевищує зовнішню силову дію. В нових системах бажано досягти обмежень радіальних деформацій оболонок горіхів.

Ключові слова: волоський горіх, лушення, руйнування оболонок, об'ємний напружений стан.

Постановка проблеми. Лушення волоських горіхів супроводжується руйнуванням оболонок з подальшим відділенням їх від ядер і внутрішніх перегородок. Головною вимогою щодо процесу при цьому є максимально досягнє збереження цілісності ядер. З теорій дроблення твердих матеріалів і положень, які стосуються теорій міцності опору матеріалів, випливає, що досягнення станів з граничними напруженнями в твердих тілах пов'язується з відповідними співвідношеннями навантажень і деформацій [1; 2]. Особливістю випадку з волоськими горіхами є порівняно міцні їхні оболонки, а їх форма в наближенні до сферичної означає природний потяг до геометрії, яка відповідає максимуму об'єму за мінімуму площі поверхні. Той же природний ресурс передбачає в процесі пророщування плодів дію внутрішніх силових факторів з боку вологонасиченого ядра. На відміну від останнього, лушення горіхів пов'язано із зовнішніми силовими діями. Це означає, що в пошуку аналогів таких навантажень слід звертатися до теорій розрахунків оболонок під дією зовнішніх силових факторів [3; 4]. Однак у подібних пошуках відсутні достатньо аргументовані теорії розрахунку оболонок, які знаходяться під дією внутрішніх тисків. Незрівнянно менше звертань до визначень умов міцності оболонок в умовах зовнішніх тисків. Розрахунки ж оболонок під дією локальних точкових або розподілених навантажень пов'язуються з наявністю в них додаткових бандажів, розпірок, ребер жорсткості тощо [3].

Відсутність повноцінного аналога теорій розрахунку навантажень і деформацій у процесах лушення горіхів означає необхідність у спеціальних теоретичних і експериментальних пошуках.

Мета дослідження: пошук можливостей удосконалення теорії і практики лушення волоських горіхів з високим рівнем цілісності їх ядер.

Матеріали і методи стосуються горіхів як об'єктів дослідження в пошуках залежностей між зовнішніми силовими впливами, деформаціями, досягненнями критичних станів і результатами процесів лушення. Теоретичним підґрунтям є

положення курсу опору матеріалів, закони Гука, теорії міцності, енергетичні баланси, теорії дроблення твердих матеріалів і тіл [5—7].

Результати досліджень стосуються пошуків можливостей досягати дроблення оболонок горіхів за мінімальних силових дій і енергетичних витрат при високому рівні збереження цілісності ядер. При цьому головне завдання цих пошуків стосується вимоги саме цілісності ядер.

При загальній оцінці ситуації існує феноменологічний перелік факторів впливу. Гіпотетично до них відносимо габаритні розміри і форму горіхів у наближенні до сферичної або еліпсоїдної, товщину оболонок, їх вологість, фізико-механічні характеристики матеріалів оболонок, орієнтацію плода відносно лінії дії силових факторів, кількість і розподіл зон прикладання зовнішніх сил, види сполучень навантажень і напружень тощо [4]. До числа найпростіших віднесемо випадки стискання горіхів між двома паралельними пластинами, що відповідає схемі на рис. 1.

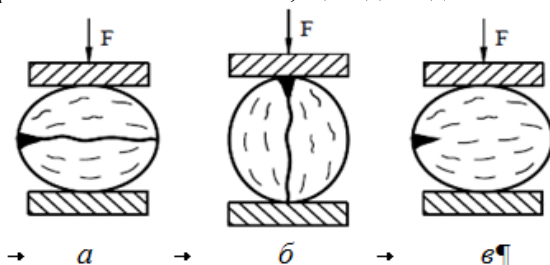


Рис. 1. Схеми розташування і навантаження горіхів між паралельних пластин:

- а) горизонтальне з дією перпендикулярної сили на поверхні сполучення;
- б) вертикальне з дією вертикальної сили;
- в) горизонтальне положення горіха з силою уздовж поверхні

Горизонтальній орієнтації відповідають випадки *а* і *в* з різницею положення площини роз'єму горіхів. Очевидно, що їм відповідають більші площі контактування з пластинами порівняно з випадком *б*. Останнє означає присутність різних величин контактних напружень, що вказує на можливість врахування цієї особливості. Результати експериментальних визначень співвідношень між силовими діями і деформаціями відображено на рис. 2.

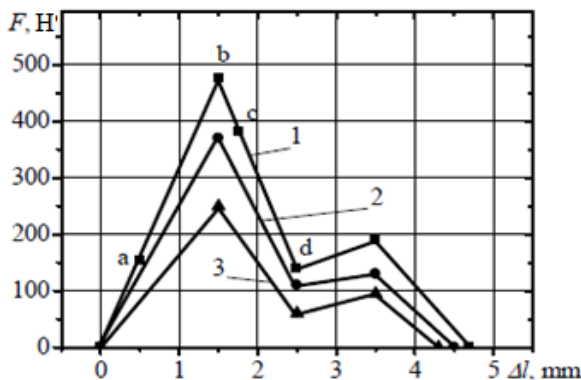


Рис. 2. Залежності силових дій і деформацій від орієнтації горіха з товщиною оболонки 2,5 мм

Графік 1 відповідає горизонтальній орієнтації горіха і перпендикулярним розташуванням площини роз'єму і напрямком силової дії. Графік 2 — напрямки площини роз'єму силової дії збігаються, а графік 3 описує випадок, коли останні збігаються за горизонтальної орієнтації горіха. З аналізу графіків залежності $F = F(\Delta\ell)$ випливає, що найбільше значення $F = 480$ Н відповідає графіку 1, за вертикальної орієнтації горіха маємо $F = 360$ Н (графік 2) і у випадку графіка 3 маємо $F = 250$ Н. Такі помітні відхилення в значеннях критичних навантажень є наслідком неізотропності матеріалу оболонки, наявності особливостей структури в площинах роз'єму та різною геометрією. Геометрія залежності $F = F(\Delta\ell)$ приводить до висновку про існування чотирьох етапів, відповідних законам крихкого руйнування. При цьому наявність чотирьох етапів відповідає вказаним трьома випадкам. Під час луцення на першому етапі контактування виникають локальні концентрації напружень з енергетичними витратами 5% від загальної кількості. Другий етап характеризується зростанням деформації оболонки з енергетичними витратами біля 65%. На третьому етапі мікротріщини оболонки зростають до макротріщин з 25% енергетичних витрат, а четвертому етапу відповідає руйнування оболонки з утворенням кількох частин з енерговитратами біля 4...5%. Для одержання і відокремлення ядер з оболонок горіхів деформації останніх повинні досягати 4...5 мм.

Візуальні спостереження показують, що часто в оболонках горіхів існують поверхневі тріщини, які за деформацій збільшуються до макротріщин. Поверхні, що прилягають до зони роз'єму також характеризуються механічними послабленнями.

Оцінка впливів різних факторів можлива за умови стабілізації інших показників можливих впливів. Так, для умов трьох попередніх випадків за стабілізації вологості на показнику 5% визначено впливи товщини оболонок на руйнівні сили навантаження за інших рівних умов (рис. 3).

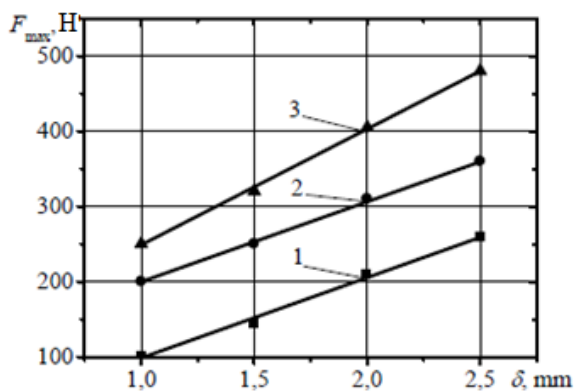


Рис. 3. Залежність критичних сил дроблення від товщини оболонки

Математичні формалізації щодо вказаних трьох випадків мають вигляд:

$$F_{max} = 153,01\delta + 97,12 \text{ Н}; \quad (1)$$

$$F_{max} = 100,11\delta + 100,03 \text{ Н}; \quad (2)$$

$$F_{max} = 120,14\delta + 20,03 \text{ Н}. \quad (3)$$

Попередні дослідження привели до висновку про помітний вплив вологості як на статику, так і на динаміку навантажень. На рис. 4 наведено графік залеж-

ності максимальної сили дроблення за різних товщин оболонок для випадку горизонтального розташування горіха між двома пластинами з перпендикулярним напрямком силової дії по площині роз'єму.

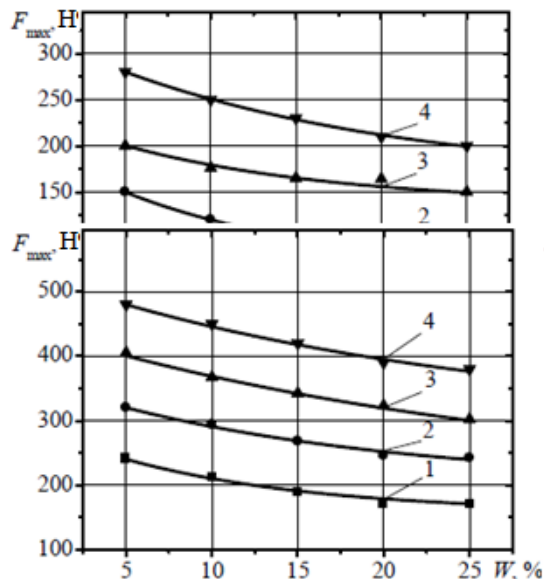


Рис. 4. Залежність сили дроблення оболонок від вологості горіхів при товщині оболонок δ :

1 — 1,0 мм; 2 — 1,5 мм; 3 — 2,0 мм; 4 — 2,5 мм

Математична формалізація цього випадку приведена до форми:

$$F_{\max} = 156,75 + 129,97e^{-w/1,2}, \text{ Н}; \quad (4)$$

$$F_{\max} = 201,95 + 157,54e^{-w/17,48}, \text{ Н}; \quad (5)$$

$$F_{\max} = 197,93 + 240,21e^{-w/29,24}, \text{ Н}; \quad (6)$$

$$F_{\max} = 293,56 + 228,36e^{-w/24,61}, \text{ Н}. \quad (7)$$

Якісний аналіз показав, що оптимальна вологість дроблення оболонок знаходиться в межах 13...16%.

За вологості 15% в цьому досліді цілісність ядра складала 67%.

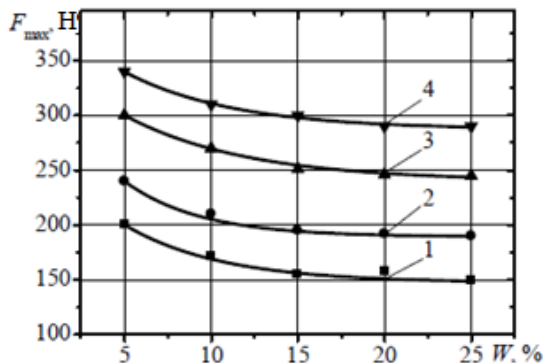


Рис. 5. Залежність сили дроблення оболонок від вологості горіхів при товщині оболонок δ :

1 — 1,0 мм; 2 — 1,5 мм; 3 — 2,0 мм; 4 — 2,5 мм

На рис. 5 наведено графік залежності максимальних сил дроблення оболонок від вологості горіхів при різній товщині оболонки для випадку вертикального розташування горіха між двома паралельними пластинами з вертикальною руйнівною силою. За товщини оболонки 1,0 мм при 5% вологості $F_{\max}$ становить 200, при $W = 25\%$ —150 Н. При товщині оболонки 2,5 мм маємо $F_{\max} = 340$ Н за $W = 5\%$ і $F_{\max} = 290$ Н за $W = 25\%$. Для вертикальної орієнтації горіха цілісність ядра при $W = 15\%$ складала 76%.

Математична інтерпретація залежностей руйнівної сили $F_{\max}$ від вологості для випадку горизонтальної орієнтації горіхів під дією сил уздовж площини роз'єму має вигляд:

$$F_{\max} = 156,75 + 129,97e^{-W/1,2}, \text{ Н}; \quad (8)$$

$$F_{\max} = 201,95 + 157,54e^{-W/17,48}, \text{ Н}; \quad (9)$$

$$F_{\max} = 197,93 + 240,21e^{-W/29,24}, \text{ Н}; \quad (10)$$

$$F_{\max} = 293,56 + 228,36e^{-W/24,61}, \text{ Н}. \quad (11)$$

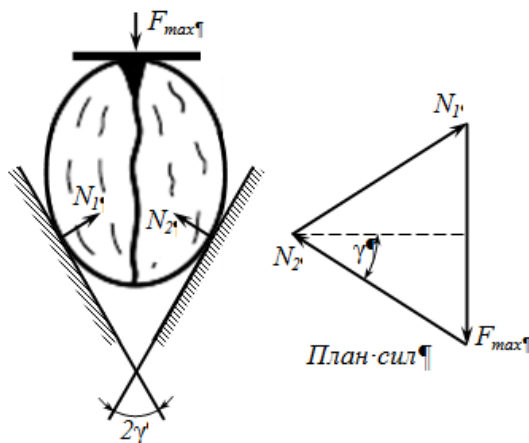


Рис. 6. Схема визначення силових дій у клинчастому жолобі

Цілісність ядра у випадку горизонтального розташування горіхів між двома паралельними пластинами за дії сил уздовж роз'єму при вологості 15% складала 72%.

Дані цієї серії дослідів свідчать про відносно низьку якість, що визначає необхідність подальших пошуків у технічній організації процесів лущення горіхів.

Наступний етап стосувався процесів лущення за умови заміни нижньої опорної плити кільцем. Такий перехід означає теоретично різне збільшення зон контактування горіхів з лінією опорної конструкції [8; 9]. Проте за відсутності ідеальної форми горіхів і навіть за відносно точної і прогнозованої геометрії опорного кільця повний контакт є недосяжним. З точки зору положень механіки найбільш вірогідним контакт буде мати місце в трьох точках (а з урахуванням з деформаціями — в трьох плямах). Важливо, що така особливість контактування буде мати підвищений результат щодо задачі руйнування оболонки. На підтвердження цього положення слід згадати відомий з тієї ж механіки ефект клину, за якого на бічних гранях

розвиваються зусилля у формі відповідних реакцій, які можуть суттєво перевищувати силову дію $F_{\max}$. На рис. 6 відповідно до цих положень наведено схему силових дій. Умова статичної рівноваги записується відповідною сумою сил, за якої

$$\bar{F}_{\max} + \bar{N}_1 + \bar{N}_2 = 0. \quad (12)$$

З плану сил, що їй відповідає, очевидно, що співвідношення між модулями $F_{\max}$. В умовах, коли кожна з силових дій створює свою частку в створенні напруженого стану, приходимо до висновку про важливість цього положення. Тим паче, що в залежності від обраного кута γ досягаються умови $N_1 \gg F_{\max}$ і $N_2 \gg F_{\max}$. Окрім того, за певної асиметрії легко реалізується умова $N_1 \neq N_2 > F_{\max}$.

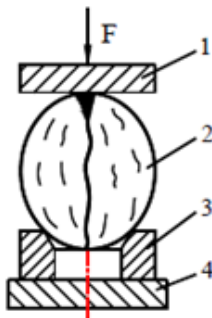


Рис. 7. Схема до випадку з опорним кільцем

При цьому на опорній поверхні можливо реалізувати наявність трьох точок опори. Якщо за двох точок опори досягається плоский напружений стан, то за трьох точок здійснюється перехід до об'ємного напруженого стану.

За двох точок опори і симетричного розташування опорних площин значення реакцій N_1 і N_2 будуть рівними і визначатимуться залежностями:

$$N_1 = N_2 = \frac{F_{\max}}{2 \sin \gamma}. \quad (13)$$

Очевидно з точки зору можливостей досягнення прогнозованих значень реакцій опор такий випадок забезпечує широкий діапазон. Перехід до системи з кільцевою конструкцією теоретично має привести до розподіленої реакції по лінії контакту, що має відповідати присутності деформацій певного рівня. Характер силових співвідношень при цьому буде залежати від геометричних параметрів горіхів, кільця і кутів поверхонь на фасках кільця. В експериментальних дослідженнях внутрішній діаметр кільця був змінним з кроком 2 мм в діапазоні від 20 до 30 мм (рис. 7). Скоси поверхонь фасок виконувалися під кутами 15, 30, 45 і 60°.

Узагальнений графік залежностей $F = F(\Delta \ell)$ наведений на рис. 8 за значень вологості оболонки $W = 5\%$ і товщини $\delta = 2,5$ мм. З нього видно, що процеси деформацій і руйнування оболонок проходять через ті ж чотири етапи, які відповідали силовим впливам між паралельними пластинами. При цьому максимальна руйнівна сила в 555 Н відповідала куту скосу $\alpha = 30^\circ$. За значень $\alpha = 45, 60$ і 15° відповідно $F_{\max} = 455, 380$ і 275 Н.

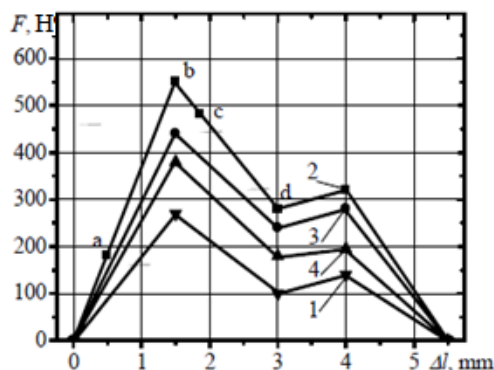


Рис. 8. Графіки залежності сили навантажень від деформації оболонки горіхів

Варіаціями залежностей значень $F_{\max}$ від товщини оболонок відповідають математичні формалізації:

$$F_{\max} = 111,1\delta + 8,9, \text{ Н при } \alpha = 15^\circ; \quad (14)$$

$$F_{\max} = 166,6\delta + 133,4, \text{ Н при } \alpha = 30^\circ; \quad (15)$$

$$F_{\max} = 125\delta + 235, \text{ Н при } \alpha = 45^\circ; \quad (16)$$

$$F_{\max} = 111,1\delta + 108,9, \text{ Н при } \alpha = 60^\circ. \quad (17)$$

Впливи кута скосу у 30° відображаються значеннями $F_{\max}$ у 300, 375, 450 і 560 Н за товщин оболонок, відповідно, 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 мм.

Для кута скосу у 15° одержано оцінки впливу вологості у формі:

$$F_{\max} = 72,81 + 75e^{-W/16,8}, \text{ Н при } \delta = 1 \text{ мм}; \quad (18)$$

$$F_{\max} = 110,6 + 77,9e^{-W/18,15}, \text{ Н при } \delta = 1,5 \text{ мм}; \quad (19)$$

$$F_{\max} = 175,26 + 92,5e^{-W/9,34}, \text{ Н при } \delta = 2 \text{ мм}; \quad (20)$$

$$F_{\max} = 206,44 + 94,96e^{-W/12,56}, \text{ Н при } \delta = 2,5 \text{ мм}. \quad (21)$$

Висновки. Аналіз особливостей технологій лущення волоських горіхів показав їх відмінності, які складно або зовсім неможливо перекласти на теорії дроблення твердих матеріалів, твердих тіл і теорії міцності опору матеріалів. Головна відмінність пов'язана з технологічним завданням одержання цілих ядер у якомога більшій кількості. Фізична сутність суперечності пов'язана з тим, що досягнення умов руйнування оболонок здійснюється через їх деформації, рівень яких може стосуватися і ядер. Важливим фактором впливу на процес дроблення є вологість оболонок, за 15% якої досягаються найвищі якості процесів. одержані графічні і математичні інтерпретації експериментальних досліджень дали змогу прийти до висновку про обмежену результативність лущення горіхів за силової їх взаємодії між паралельними пластинами. Такий варіант відповідає випадку осьового напруженого стану за наявності контактних напружень. Певною перспективою у підвищенні якості процесів подрібнення прогнозується перехід до випадків плоского і навіть просторового напруженого стану. Одним із випадків реалізації останнього визначено контактування горіхів з опорою у формі кільця з внутрішніми фасками.

У подальших дослідженнях доцільно більш глибоко вивчити процеси лущення в режимах об'ємних напружених станів, за яких існує можливість досягти значення реакцій опорних площин, що перевищує зовнішню силову дію. В нових системах бажано досягти обмежень радіальних деформацій оболонок горіхів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологічне обладнання зернопереробних і олійних виробництв: навчальний посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю., Гвоздев В. О. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 488 с.
2. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. — Киев: Наукова думка, 1988. — 736 с.
3. Справочник механика пищевой промышленности / А. И. Соколенко, А. И. Украинец, В. Л. Яровой и др.; Под ред. А. И. Соколенка. — Киев: АртЭк, 2004. — 304 с.
4. Инфопедия: механізм подрібнення твердих тіл (теорії подрібнення). URL: <https://infopedia.su/1x984.html> (дата звертання 04.07.2019).
5. Вікіпедія: Закон Гука. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%93%D1%83%D0%BA%D0%B0 (дата звертання 04.07.2019).
6. Вікіпедія: Дроблення корисних копалин. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD (дата звертання 04.07.2019).
7. Вікіпедія: Теорія міцності. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%97_%D0%BC%D1%96%D1%86%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96 (дата звертання 04.07.19).
8. Пристрій для лушення волоських горіхів: пат. на кор. модель 44033 Україна: МПК (2009): A23N 5/00 / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Павлов С. О.; власник НУХТ. № u200904941; заявл. 19.05.2009; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 17.
9. Пристрій для групового лушення волоських горіхів: пат. на кор. модель 48599 Україна: МПК (2009): A23N 5/00, A23N 7/00 / Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Піддубний В. А., Блаженко С. І., Шевченко А. О.; власник НУХТ. № u200910069; заявл. 05.10.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ОБОЛОЧЕК ГРЕЦКИХ ОРЕХОВ

А. И. Украинец, Е. В. Негрей

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведена информация, которая касается особенностей разрушения ореховых оболочек в условиях взаимодействия плодов с параллельными пластинами и при замене опорной пластины кольцом с фаской. Главная задача технологии состоит в получении как можно большего количества целых ядер орехов. Показано, что современные теории разрушения твердых материалов и тел практически не могут быть применены при описании процессов дробления оболочек орехов, как и теории прочности, изложенные в курсах сопротивления материалов. Задача сохранения формы и целостности ядер составляет основное противоречие технологии. В дальнейших исследованиях целесообразно углубить информацию о процессе шелушения в режимах объемных напряженных состояний, при которых существует возможность достичь значения реакций опорных плоскостей, превышающих внешнее силовое действие. В новых системах желательно достичь ограничений радиальных деформаций оболочек орехов.

Ключевые слова: грецкий орех, шелушение, разрушение оболочек, объемное напряженное состояние.

УДК 66.081.63:666.64

THE PROMISING MATERIALS FOR THE FILTRATION MEMBRANES OF THE FOOD INDUSTRY

B. Pashchenko, O. Litvinenko*National University of Food Technologies***E. Shtefan***National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

Key words:

filtration membrane elements, deformation, computer simulation

Article history:

Received 26.09.2019

Received in revised form 19.10.2019

Accepted 25.11.2019

Corresponding author:

hoykke@gmail.com

ABSTRACT

The article presents the results of mathematical simulation through ceramic ultrafiltration membranes tubular type which based on alumina Al_2O_3 . Implementation of ultrafiltration processing processes carried out by using membrane filter elements. The sediment layer is formed on the surface of the membrane at separating high molecular weight compounds. It reduces capacity of the membrane. Periodic membrane regeneration is compulsory. The theoretical analysis method of membrane filtration process is worked out by the account of porous membranes structural — mechanic parameters. The ultrafiltration process mathematical description is presented with the ceramic filter elements using. The high concentrated colloid mixtures dividing are leads to the sediment on the membrane surface and its productivity reducing. Therefore a filter element and sediment layer are consist the porous double-base material under the operating loading action. Such filter systems mechanical behaviors are considered by the elastic-plastic material solid phase regime. Such method allows to define the regularity of sediment layer filtration coefficient changing while it compression and pores blocking time. The mathematical model of membrane elements deformation process is realized as a digital system PLAST-POR-M, that is intended for the computer design of the hollow membrane frame deformation process. Numerical experiments for the research of tube-type ceramic membrane deformation are conducted. The stress, deformations and porosity distributions in membrane element material is defined, and also, their change under the attached operating loading. The adequacy estimation of proposed modeling imagines about the change of filtration coefficient from the membrane stress-strain state is defined. It is shown that the proposed model is adequate when transferring results from quasi-planar elementary parts of the membrane to its full area or volume.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-13

© Б. С. Пашченко, О. А. Литвиненко, Є. В. Штефан, 2019

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ КЕРАМІЧНОЇ МЕМБРАНИ В ПРОЦЕСІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ ХАРЧОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Б. С. Пашенко

О. А. Литвиненко, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

Є. В. Штефан, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті наведено результати імітаційного математичного моделювання фільтрування через керамічні ультрафільтраційні мембрани трубчастого типу. Модель ураховує структурно-механічні параметри та умови оброблення дисперсної мультикомпонентної системи. Цифрова модель PLAST-POR-M, запропонована авторами, імітує процес деформування порожнистого каркасу мембрани. Отримано графічні залежності та числові значення напружень деформації в часі, розподіл пористості від величини дотичних напружень та еквівалентної деформації частини фільтрувального елемента у вигляді окремого сегмента, так і повного каркасу мембранного елемента. Встановлено, що зміна пористості при цьому має лінійну залежність під дією еквівалентної деформації та логарифмічну під дією дотичних напружень. Показано, що запропонована модель є адекватною при перенесенні результатів від квазіпласких елементарних частин елемента до повної його площі або об'єму.

Ключові слова: фільтраційні мембранні елементи, деформація, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Однією з найважливіших проблем соціально-економічного розвитку суспільства є вдосконалення структури харчової промисловості. Для цього потрібно забезпечити реалізацію спектра наукових, технічних, економічних та екологічних питань, що потребує комплексного поєднання різноманітних сучасних технологій. Серед них особливе місце посідають мембранні технології, зокрема ультрафільтрація. Порівняно з традиційними методами розділення харчових середовищ, такі процеси забезпечують енергетично- та екологічно раціональні варіанти реалізації апаратних схем розділення та концентрування. Реалізація процесів ультрафільтраційного оброблення здійснюється за допомогою полімерних мембранних фільтрувальних елементів (ФМЕ), які мають селективну проникність, що визначається їх фізико-механічними та експлуатаційними властивостями й умовами проведення технологічного процесу. Мембрани виготовляють із синтетичних полімерів, зокрема поліаміду, полісульфону, полієфірсульфону тощо. При розділенні високомолекулярних сполук на поверхні мембрани утворюється гелеподібний осад, який знижує її продуктивність. Отже, періодична регенерація мембран є обов'язковою складовою технологічного процесу. Однак полімерні матеріали мембран з кожним циклом регенерації неминуче втрачають свої експлуатаційні властивості, що негативно впливає на перебіг ультрафільтрації.

Одним із перспективних конструктивних матеріалів є кераміка на основі оксиду алюмінію Al_2O_3 , вироби з якої відрізняються відрізняються хімічною інертністю і високою зносостійкістю за різних умов експлуатації [1; 2]. Очевидно, що використання кераміки для виготовлення МФЕ дасть змогу, не порушуючи структуру і

властивостей мембран, збільшити кратність циклів їх регенерації при використанні більш хімічно активних реагентів [3; 4].

Водночас ефективність впровадження мембранних технологій обмежується складністю врахування структурно-механічних параметрів сировини, властивостей фільтрувальних елементів та структури осаду, що виникає на поверхні мембрани. Для забезпечення ефективного використання мембранних методів розділення у харчових технологіях доцільно на етапі проектування відповідного обладнання враховувати технологічні режими їх експлуатації, деформацію фільтрувальних елементів та ущільнення шару осаду, що призводить до закупорювання порожнин мембрани і зниження їх продуктивності.

Слід зазначити, що такі особливості роботи досить ускладнені при безпосередньому експериментальному вивченні й аналізі. Тому важливу роль у дослідженні мембранних процесів відіграє математичне моделювання. Рішення отриманих залежностей може здійснюватися різними наближеними або чисельними методами [5]. Відомі математичні моделі для опису процесів ультрафільтрації включають параметри, що не піддаються прямому вимірюванню або обчисленню. До них відносять константи, які характеризують швидкість накопичення забруднень, питомого гідравлічного опору їх шару тощо. Новітні досягнення у сфері математичного програмного забезпечення дають змогу вирішити цю проблему на основі комплексної методики досліджень та інформаційних технологій проектування (ІТП). Розроблення такої методики є актуальним напрямком розвитку наукових досліджень у цій галузі харчових технологій.

Метою дослідження є розроблення імітаційної моделі деформування керамічного МФЕ під дією дотичних напружень унаслідок динамічних навантажень і оцінка її придатності для моделювання об'єму МФЕ з урахуванням фактора форми і структурного коефіцієнта. Для перевірки розрахованих показників одержані числові значення імітаційного моделювання деформації реалізувати в алгоритмах сучасного програмного забезпечення.

Матеріали і методи. Для математичного моделювання умов експлуатації ультрафільтраційних елементів запропонована розроблена інформаційна технологія проектування, в основу якої закладена математична модель порожнистого середовища [6]. Запропонований варіант ІТП розглядає процес проходження дисперсного середовища крізь ультрафільтраційну мембрану у вигляді мультикомпонентної системи взаємопов'язаних елементів: порожнистого каркасу мембрани, газорідної фази, що заповнює пори мембрани, тиску нагнітання, умов фіксації мембрани тощо.

Математична модель використовує систему рівнянь, які складають основу крайової задачі механіки дисперсних систем, що дає змогу врахувати структурно-механічні та реологічні параметри твердої фази матеріалу при створенні математичної моделі деформаційних процесів. Форма отриманих визначальних співвідношень надає можливість ефективно використовувати їх для скінченно-елементного аналізу механічної поведінки дисперсних матеріалів на основі розробленої цифрової моделі рівноважних (пружно-пластичних) процесів деформування компактних матеріалів.

Для реалізації математичної моделі МФЕ розбивається на пласкі напівсегменти, структурна деформація кожного з яких моделюється окремо, а потім програмно розповсюджується по всьому об'єму досліджуваного елемента з урахуванням фактору форми і структурного коефіцієнта.

На початковому етапі приймається концепція подання каркасу мембрани як порожнистої твердої деформованої структури з рідиною чи газом, якій надають фізичні властивості, що феноменологічно відображають молекулярну структуру середовища і його внутрішні переміщення, які відбуваються в мембрані. Для опису механічної поведінки таких матеріалів необхідно використовувати параметри напружень, деформацій, щільності, а також швидкості їх зміни. Характеристики мають локальну природу і визначаються за допомогою операцій граничного переходу, коли елементи простору (об'єми і поверхні) стягуються до точок (матеріальних).

Динамічні аспекти механічної поведінки каркасу регламентуються рівняннями балансу у формі закону збереження кількості руху з урахуванням закону збереження маси у межах цього елемента, причому для кожної з фаз дисперсної системи рівняння відносного руху представляють у вигляді [6]:

$$\alpha_1 \left(\rho_1 \frac{du}{dt} - \rho_2 \frac{dv}{dt} \right) - \nabla \sigma^f - \frac{\xi^2}{\alpha_2^2 \alpha_1 \mu (v - u)} - \alpha_1 (\rho_1 - \rho_2) G = 0; \quad (1)$$

$$\rho_2 \frac{dv}{dt} = -\nabla P - \frac{\xi^2}{\alpha_2^2 \alpha_1 \mu (v - u)} + \rho_2 G = 0, \quad (2)$$

де μ — коефіцієнт динамічної в'язкості (кг·с/м) для нестискої рідини; ξ — узагальнений, що враховує конфігурацію простору пор дисперсійного середовища (коефіцієнт звивистості).

Для встановлення зв'язку між деформаціями та напруженнями розглядають окремий мікрофрагмент (частку) дисперсної системи, формулюють співвідношення його механічних параметрів і виконують усереднення параметрів по макрооб'єму МФЕ. Для цього розглядають ідеалізований мікрофрагмент — елементарну ділянку у вигляді сегмента півкола (рис. 1).

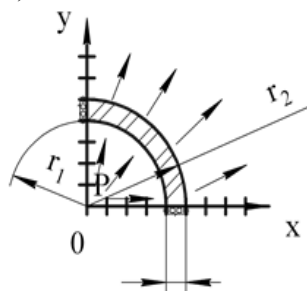


Рис. 1. Схема «тупикової» ультрафільтрації у квазіпласкій постановці на координатній площині $OxOy$: r_1 — внутрішній радіус МФЕ; r_2 — зовнішній радіус МФЕ; P — робочий тиск процесу (тиск у системі); δ — товщина МФЕ

Матеріал локальної ділянки вважається нестисним, а ординати вісі Ox збігаються з напрямком одного з головних компонентів тензора швидкостей деформації.

В обраному сегменті розглядають лише дві компоненти швидкості переміщень точок матеріалу v_r і v_x , які задовольняють рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_x}{\partial x} = 0. \quad (3)$$

Для уточнення результатів прийнятої ідеалізації розглядають параметр швидкості локальної енергії деформування порожнистого каркасу з подальшим її усередненням по всій площі та об'ємі сегмента [6]:

$$D = \sigma_0 \gamma_0 \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\frac{\psi e^2}{\gamma_0^2} + \frac{\phi^2}{\gamma_0^2}} \right)^{n+1} + \sigma_T \gamma_0 \frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\frac{\psi e^2}{\gamma_0^2} + \frac{\phi^2}{\gamma_0^2}}, \quad (4)$$

де σ_T — границя текучості, γ — параметр інтенсивності швидкостей деформації; q, σ_0, γ_0, n — константи апроксимації емпіричних даних.

На основі (4) формулюється загальна структура визначальних співвідношень через компоненти тензорів напружень σ_{ij} і швидкостей деформацій e_{ij} [6]:

$$\sigma_{ij} = \left(\frac{\sigma_0 \left(\frac{w}{\gamma_0} \right)^n + \sigma_T}{w} \right) \left[\phi e_{ij} + \left(\psi - \frac{1}{3} \phi \right) e \delta_{ij} \right]. \quad (5)$$

Отже, визначальні співвідношення незворотних умов деформування порожнистого каркасу мембрани такі [6]:

$$\sigma_{ik} = \frac{1}{\lambda(\phi)} \left[\phi e_{ik}^H + \left(\psi - \frac{1}{3} \phi \right) e^H \delta_{ik} \right]. \quad (6)$$

Особливістю моделі є те, що поняття рівноважної течії матеріалу виявляється альтернативним його пружно-пластичному деформуванню.

Рівняння (6) дає змогу визначити незворотну складову швидкості деформування ФМЕ [6]:

$$e_{ik}^H = \frac{\sqrt{\phi \gamma^2 + \psi e^2}}{\phi \psi \left(\sqrt{\rho k} + 2 \eta_k \sqrt{\phi \gamma^2 + \psi e^2} \right)} \left[\phi \sigma_{ik} + \left(\frac{1}{3} \phi - \psi \right) p \delta_{ik} \right]. \quad (7)$$

Для визначення можливостей застосування запропонованої імітаційної математичної моделі деформації керамічного елемента в процесі ультрафільтрації технологічних середовищ як об'єкта моделювання використано реальний МФЕ — мембрана Inopor ultra на основі α -модифікованого оксиду алюмінію Al_2O_3 , фізико-механічні властивості якої наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики керамічної мембрани Inopor ultra

Характеристика	Показник
Густина δ , г/см ³	3,9
Модуль Юнга E , ГПа	365
Коефіцієнт тертя μ	0,20
Діаметр порожнин d , мкм	3-5
Середня кількість порожнин на 1 мм ²	10
Міцність на стиск σ , МПа	2100-2600
Робоча площа мембрани, $S_{кор}$, м ²	0,0058
Пористість мембрани	55%

Візуалізацію процесу деформування сегмента керамічного елемента ФМЕ здійснювали в програмному комплексі PLAST-POR-M [6].

На рис. 2 наведено ізограми розподілу порожнистостей внаслідок деформації сегмента керамічного ФМЕ на моделі порожнистого каркаса, утвореного сіткою скінченних елементів з точками прикладення навантажень.

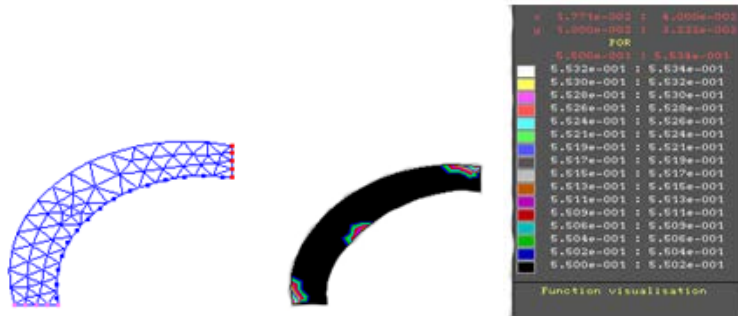


Рис. 2. Візуалізація розподілу порожнистості при деформації сегмента керамічного ФМЕ

Рис. 3 ілюструє розподіл по площині дотичних напружень внаслідок деформації, які виникають в ФМЕ при зміщенні координат порожнистого каркаса, утвореного сіткою скінченних елементів.

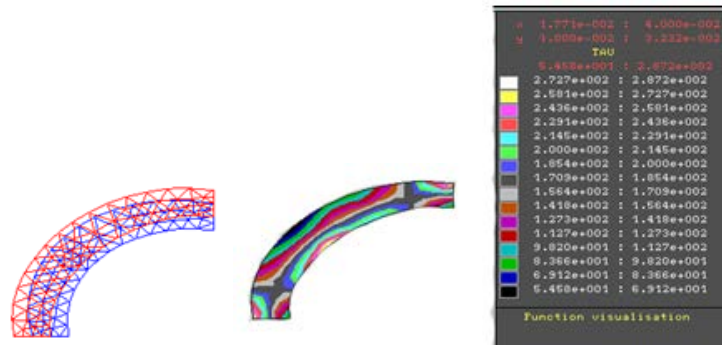


Рис. 3. Візуалізація розподілу дотичних напружень внаслідок деформації сегмента ФМЕ

Узагальнена ізограма розподілу еквівалентних деформацій керамічного ФМЕ в процесі ультрафільтрації дисперсної системи наведена на рис. 4.

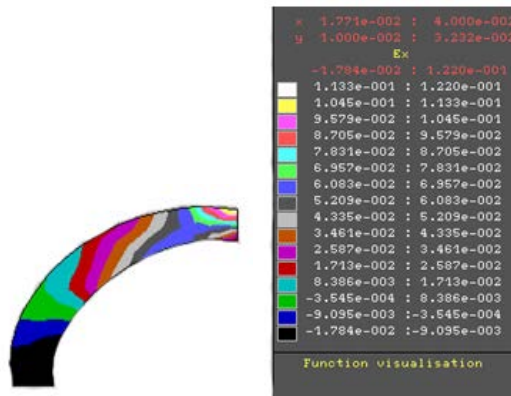


Рис. 4. Візуалізація розподілу еквівалентних деформацій ФМЕ

На основі проведеного моделювання отримано графічні залежності напружень деформації у часі, розподіл порожнистості від величини дотичних напружень та еквівалентної деформації сегмента керамічного МФЕ (рис. 5—6).

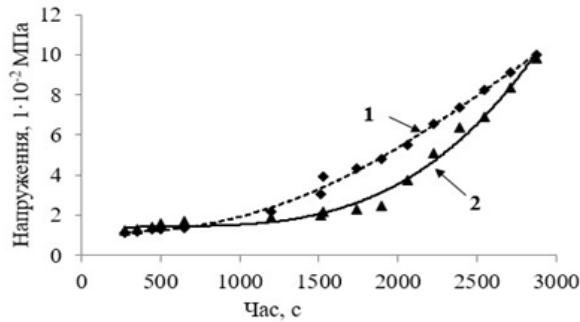


Рис. 5. Змінення деформації МФЕ від тривалості ультрафільтраційного оброблення: 1 — еквівалентні деформації; 2 — дотичні напруження

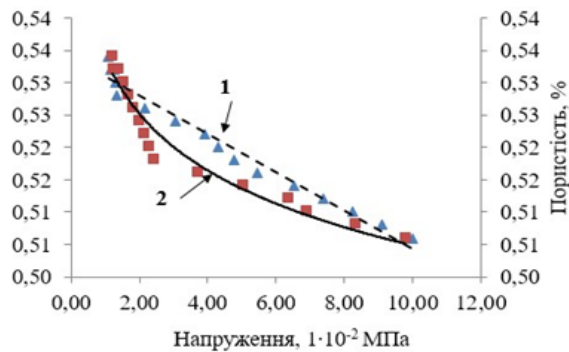


Рис. 6. Залежність розподілу порожнистості під дією: 1 — еквівалентної деформації; 2 — дотичних напружень

Аналіз одержаних результатів показує, що під дією деформації керамічного МФЕ в процесі ультрафільтрації в структурі мембрани відбувається відносно невелика зміна пористості, яка має лінійну залежність під дією еквівалентної деформації та логарифмічну під дією дотичних напружень. Аналогічно змодельовано процес деформування повного об'єму керамічного мембранного елемента з урахуванням фактора форми і структурного коефіцієнта та реалізовано у алгоритмах PLAST-POR-M.

Результати досліджень. За результатами імітаційного моделювання одержано результати, за якими побудовано графічні залежності, наведені на рис. 7, 8.

Порівняльний аналіз результатів, одержаних при моделюванні розподілу порожнистості внаслідок дії еквівалентних деформаційних напружень, показує, що графічні залежності (рис. 5, 6) і (рис. 7, 8) мають дещо відмінний характер розподілу, хоч він і знаходиться в межах статистичної похибки. Це можна пояснити тим, що при моделюванні сегментованої частини ФМЕ фактор форми несуттєво впливає на подальшу зміну і підвищення величини напружень. При відображенні характеру деформації по всьому об'єму МФЕ роль фактора форми стає більш значущим елементом розрахунку, що підтверджуються розбіжністю на графіках.

Але ця величина є недостатньою для того, щоб істотно вплинути на кінцевий результат моделювання.

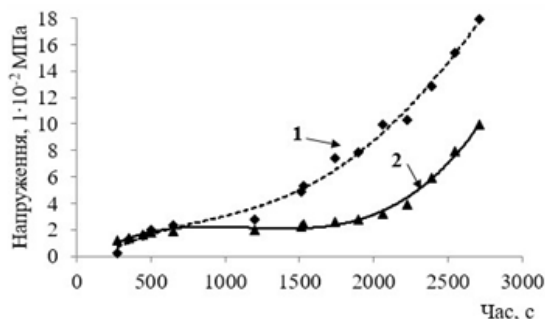


Рис. 7. Залежність змінення деформації керамічного МФЕ від тривалості ультрафільтрації: 1 — еквівалентні деформації; 2 — дотичні напруження

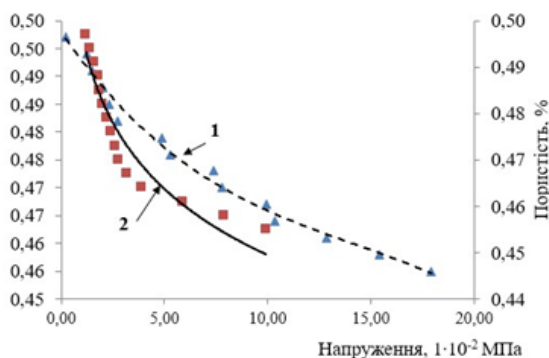


Рис. 8. Залежність розподілу порожнистостей під час деформації під дією: 1 — еквівалентної деформації; 2 — дотичних напружень

На підставі порівняльного аналізу результатів імітаційного математичного моделювання можна стверджувати, що розроблена інформаційна технологія проектування дає змогу врахувати умови експлуатації керамічних фільтрувальних елементів залежно від їх фізико-механічних властивостей, відповідає поставленим завданням і є дієвим засобом їх вирішення.

Висновки. Розроблена математична модель для дослідження процесу мембранного фільтрування з урахуванням структурно-механічних параметрів фільтрувальних керамічних мембран на основі інформаційних технологій проектування розглядає проходження оброблюваної дисперсної системи крізь ультрафільтраційну мембрану у вигляді мультикомпонентної системи взаємопов'язаних елементів, що дає змогу визначити характер її деформації. На основі математичної моделі розроблена цифрова — PLAST-POR-M, яка імітує процес пластичного деформування пористого каркасу ФЕ під час ультрафільтрації. Отримано графічні залежності та числові значення напружень деформації в часі, розподіл пористості від величини дотичних напружень та еквівалентної деформації як сегмента, так і повного каркасу ФМЕ. Зміна пористості при цьому має лінійну залежність під дією еквівалентної деформації та логарифмічну під дією дотичних напружень. В той же час її величина є незначною, отже, основним фактором при зниженні продуктивності мембрани є ущільнення структури шару осаду. Невеликі розбіжності отри-

маних числових значень показують, що запропонована модель є адекватною при перенесенні результатів від квазіпласких елементарних частин мембрани до повної її площі або об'єму з урахуванням параметрів геометричної форми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hees M. Verwirbelungen halten Keramik Sauber / M. Hees // Ernährungsindustrie. — 2001. — № 6. — P. 64—65.
2. Litvinenko A. Effect of Phase Composition on Cavitation Resistance of Ceramics / A. Litvinenko, Yu. Boyko, B. Pashchenko, Yu. Sukhenko // Advances in Design, Simulation and Manufacturing Proceedings of the International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2018, June 12—15, Sumy, Ukraine, 2018. — Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature. — Issue 1. — P. 299—305.
3. Литвиненко О. А. Зносостійкість кераміки для фільтраційних мембран / О. А. Литвиненко, Б. С. Пащенко // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». — Луцьк: ЛНТУ, 2018. — В. 61. — С. 105—109.
4. Пащенко Б. С. Визначення концентрацій фаз при мембранному фільтруванні рідких середовищ / Б. С. Пащенко, Є. В. Штефан // Наукові праці ОНАХТ. — Одеса: ОНАХТ, 2016. — Т. 80(1). — С. 94—97.
5. Бабій М. С. Теорія програмування: навч. посіб. / М. С. Бабій, О. П. Чекалов. — Суми: СумДУ, 2008. — 181 с.
6. Пащенко Б. С. Перспективні матеріали для фільтраційних мембран харчової промисловості / Б. С. Пащенко, Є. В. Штефан, О. А. Литвиненко // Харчова промисловість. — К.: НУХТ, 2016. — В. 20. — С. 123—129.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ КЕРАМИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЫ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ПИЩЕВЫХ СРЕД

Б. С. Пащенко, О. А. Литвиненко

Национальный университет пищевых технологий

Е. В. Штефан

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

В статье приведены результаты имитационного математического моделирования через керамические ультрафильтрационные мембраны трубчатого типа. Модель учитывает структурно-механические параметры и условия обработки дисперсной мультикомпонентной системы. Цифровая модель PLAST-POR-M, предложенная авторами, имитирует процесс деформирования полого каркаса мембраны. Получены графические зависимости и числовые значения напряжений деформации во времени, распределение пористости от величины касательных напряжений и эквивалентной деформации фрагмента фильтровального элемента в виде отдельного сегмента, так и полного каркаса мембранного элемента. Установлено, что изменение пористости при этом имеет линейную зависимость под действием эквивалентной деформации и логарифмическую под действием касательных напряжений. Показано, что предложенная модель является адекватной при переносе результатов квазиплоских элементарных частей элемента до полной его площади или объема.

Ключевые слова: *фильтрационные мембранные элементы, деформация, компьютерное моделирование.*

УДК 663.55

MODELING OF THE DISTRIBUTION OF PERCENTAGE OF ETHANOL COMPOSITION OVER THE PLATES OF THE IMPURITIES CONCENTRATION COLUMN

O. Shevchenko, O. Bedryk*National University of Food Technologies***V. Maleta***Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia*

Key words:

cyclic distillation,
impurity concentration
column,
parent fraction concentrate,
hydroselection,
mathematical modeling

Article history:

Received 15.10.2019
Received in revised form
16.11.2019
Accepted 10.12.2019

Corresponding author:

tmipt@ukr.net

ABSTRACT

The paper deals with the modeling of the distribution of ethanol concentrations on the plates of the impurity concentration column under different conditions of its operation. First of all, the efficiency of the impurity extraction is affected by the concentration of ethanol. With decreasing in ethanol concentration, the volatility of the bulk of impurities increases. On the other hand, a considerable dilution of alcohol chases with water for hydroselection leads to energy overrun in their further processing. Thus, it is important for the industry to optimize the distribution of ethanol concentrations across the plates of the column to achieve the maximum effect of impurity extraction at a fixed value of the ethanol concentration in the column cube.

Mathematical modeling is used as an optimization tool, and the object of modeling is the column with cyclic mode of operation as the most efficient ones. The calculations showed that the place of supply of hydro-selection water significantly changes the pattern of ethanol distribution. Three main variants of work of the column were considered: water and phlegm on the first top plate, water on the first top plate and phlegm on the lower plates, water on a feeding plate. For all options, there are concentration barriers over the height of the column in the concentration or exhaust parts. Concentration smoothing over the column is possible in case of water redistribution between the feeding and the top of the column. Flow ratios are determined by calculating a mathematical model for given input parameters. It was determined that the optimum conditions for the removal of impurities of both main and intermediate nature creates a regime of water supply to the first top plate and feeding, and phlegm to lower than the first plate.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-14

© О. Ю. Шевченко, О. В. Бедрик, В. М. Малета, 2019

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПРОЦЕНТНОГО СКЛАДУ ЕТАНОЛУ ПО ТАРІЛКАХ КОЛОНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК

О. Ю. Шевченко, д-р. техн. наук

О. В. Бедрик

Національний університет харчових технологій

В. М. Малета, канд. техн. наук

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

У статті розглянуто моделювання розподілу концентрацій етанолу по тарілках колони концентрації домішок при різних умовах її роботи. З'ясовано, що передусім на ефективність вилучення домішок впливає концентрація етанолу. Зі зменшенням концентрації етанолу легкість основної маси домішок збільшується. З іншого боку, значне розбавлення спиртових погонів водою для гідроселекції призводить до перевитрати енергії в подальшій їх переробці. Таким чином, для промисловості важливим є оптимізація розподілу концентрацій етанолу по тарілках колони з метою максимального ефекту вилучення домішок при фіксованому значенні концентрації етанолу в кубі колони. Як інструмент оптимізації використано математичне моделювання, а об'єктом моделювання є колони з циклічним режимом роботи як найбільш ефективні. Проведені обчислення показали, що місця подачі в колону гідроселекційної води суттєво змінюють картину розподілу етанолу. Співвідношення потоків визначалось шляхом розрахунку поведінки математичної моделі для заданих вхідних параметрів.

Ключові слова: циклічна дистиляція, колона концентрації домішок, концентрат головної фракції, гідроселекція, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Стабільне виробництва високоякісного харчового спирту передбачає послідовне з'єднання між собою в брагоректифікаційну установку декількох основних (бражна, епіюраційна, ректифікаційна) та додаткових колон (кінцевої очистки, концентрації домішок, сивушної), які забезпечують відбір супутніх домішок із зон їх максимального концентрування. Найбільш різноманітні домішки головного характеру. Очищення етанолу від цих домішок відбувається в однотипних колонах: епіюраційній та колоні концентрації домішок (ККД). Всі закономірності, отримані по одній з них, можливо перенести на іншу [1].

Останнім часом у спиртовій галузі поширились тенденції поглиблення очистки етанолу. Для цього, збільшують подачу води на гідроселекцію в епіюраційну колону, що зменшує концентрацію епіюрату. Це, у свою чергу, порушує розподіл проміжних домішок у ректифікаційній колоні, ускладнюючи їх відбір. Використання ККД також покликане покращити якість спирту та додатково збільшити його вихід на 3—4% за рахунок отримання концентрату головної фракції (ГФ).

Успішне виведення домішок пов'язане з інформацією їх поведінки при ректифікації. У своїй книзі П. С. Циганков [1] описав залежність розподілу концентрацій етанолу по тарілках епіюраційної колони від кількості води, поданої на гідроселекцію. При цьому вода подавалась в одне місце, на верхню тарілку колони, а концентрація епіюрату не була фіксованою, та зменшувалась обернено пропорційно кількості поданої води.

Мета дослідження: визначити оптимальні умови вилучення домішок головного характеру за рахунок рівномірного розподілу концентрацій етанолу по всій висоті колони для фіксованого значення концентрації кубової рідини.

Матеріали і методи. Враховуючи однотипність епіюраційної колони та ККД як об'єкт досліджень було взято останню, що пов'язано з широким діапазоном демонстрації можливостей запропонованої методики за рахунок більшої концентрації живлення. Вибрана колона працює в режимі циклічної дистиляції. Такі колони вже використовуються в промисловості і забезпечують найбільшу ефективність розділення компонентів [2]. На основі математичної моделі для циклічних процесів В. М. Малетого [3] було створено програму розрахунку розподілення концентрації спирту по тарілках колони. Ми використали цю модель. Для моделювання обрали ККД спиртового заводу продуктивністю 3000 дал/добу з вхідними даними: концентрація живлення 90% об, концентрація кубової рідини 15% об., витрата пари 200 кг/год, кількість тарілок 15 шт., подача живлення на 8 тарілку у кількості 210 л/год, витрата води на гідроселекцію 0,86 м³/год, обігрів колони — відкритий.

З огляду на схему потоків в епіюраційній колоні, описану П. С. Циганковим, розглянуто три основні можливі варіанти подачі води на гідро селекцію. Як опцію використано додаткове розбавлення живлення:

- вода W та флегма F подаються на першу згори тарілку (рис. 1а);
- вода подається на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки (рис. 1б) [4];
- вода подається на тарілку живлення, а флегма — на першу зверху тарілку (рис. 1в).

Схема розподілу потоків у колоні зображена на рис. 1.

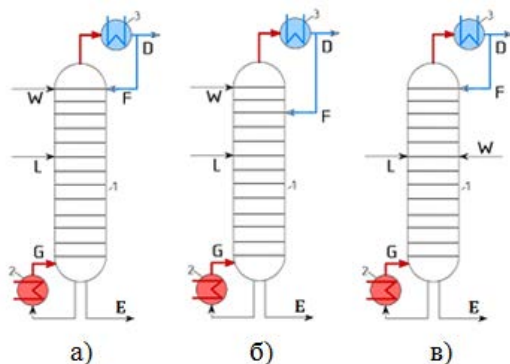


Рис. 1. Схема розподілу потоків у ККД: а) вода та флегма подаються на першу згори тарілку; б) вода — на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки; в) вода — на тарілку живлення, а флегма — на першу згори тарілку. Умовні позначення: 1 — колона; 2 — кип'ятильник; 3 — дефлегматор; D — концентрат; L — живлення; F — флегма; E — кубова рідина; G — пара; W — вода

Результати розрахунків концентрації етанолу по тарілках ККД зображено на рис. 2, для варіантів потоків — на рис. 1.

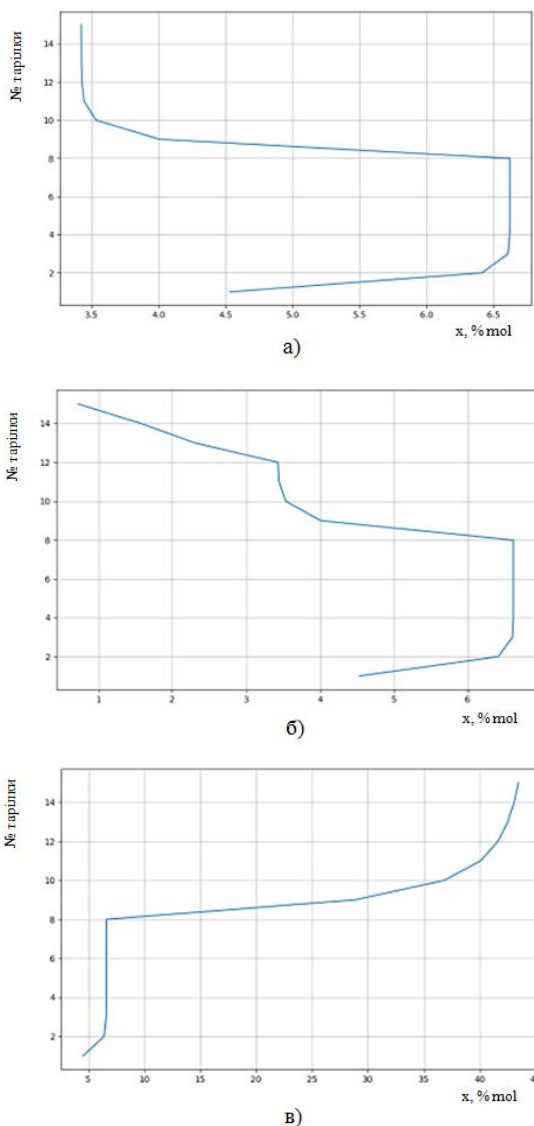


Рис. 2. Графіки розподілу концентрації спирту по тарілках ККД:

- а) вода та флегма подаються на першу згори тарілку;
- б) вода — на першу згори тарілку, а флегма — на нижчі тарілки;
- в) вода на тарілку живлення, а флегма — на першу згори тарілку

На графіках (рис. 2) видно, що місце вводу води суттєво впливає на розподіл концентрації спирту по висоті колони та, відповідно, на умови вилучення домішок. Із графіків видно наявність концентраційних бар'єрів по тарілках колони. На рис. 2а та рис. 2б концентраційний бар'єр зосереджений у вичерпній частині колони. На рис. 2в концентраційний бар'єр зосереджений у концентраційній частині колони. При такому розподілі гідроселекційної води ми маємо різні умови вилучення домі-

шок (різна концентрація етанолу) для різних частин колони, що негативно впливає на загальний процес вилучення. Вирівнювання концентрацій етанолу по висоті колони можливе у випадку перерозподілу води між живленням та першою зверху тарілкою. Моделюванню підлягали два режими роботи колони:

- режим I: подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 15 тарілку;

- режим II: подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 12 тарілку [4].

Вхідні параметри розрахунку ККД не змінювали.

Схема розподілу потоків у колоні, що моделюється, зображена на рис. 3.

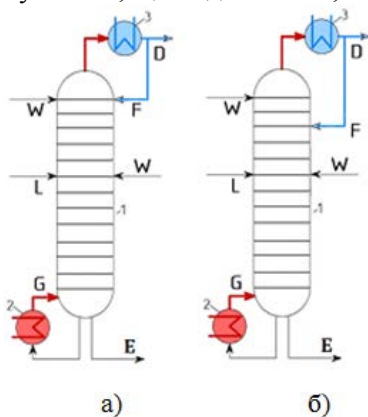


Рис. 3. Схема розподілу потоків у ККД циклічного режиму: а) режим I; б) режим II.

Умовні позначення: 1 — колона; 2 — кип'ятильник; 3 — дефлегматор;

D — концентрат; L — живлення; F — флегма; E — кубова рідина; G — пара; W — вода

Результати досліджень. Розподіл концентрації етанолу в режимі I роботи ККД зображено на рис. 4а—6а. Подача води на 15 тарілку та розбавлення живлення на 8 тарілці при подачі флегми на 12 тарілку в режимі II зображено на рис. 4б—6б. Гідроселекційною водою розбавляли живлення до 30, 35 та 33% об. відповідно.

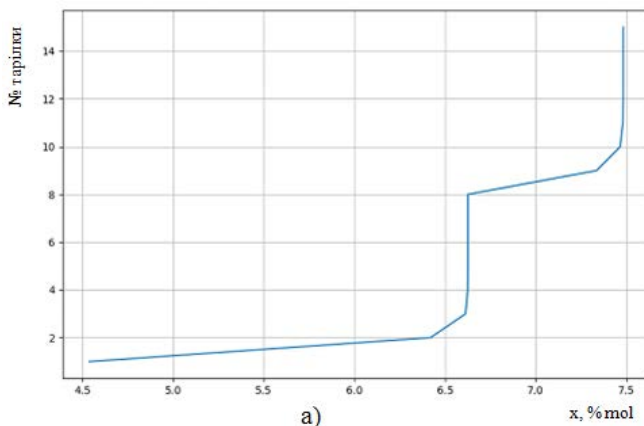


Рис. 4а. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колони, живлення 30% об.

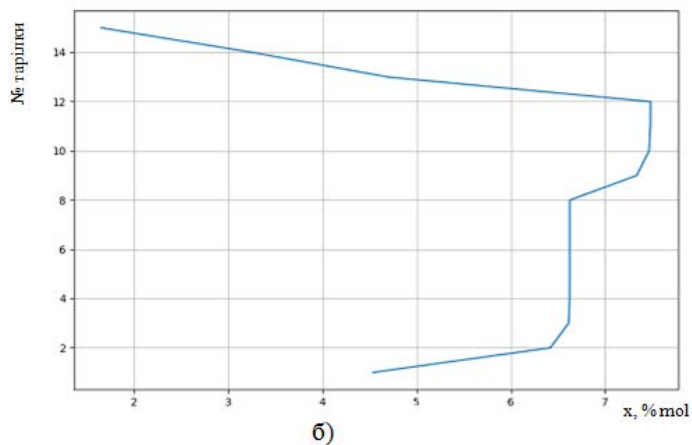


Рис. 46. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колонії, живлення 30% об.

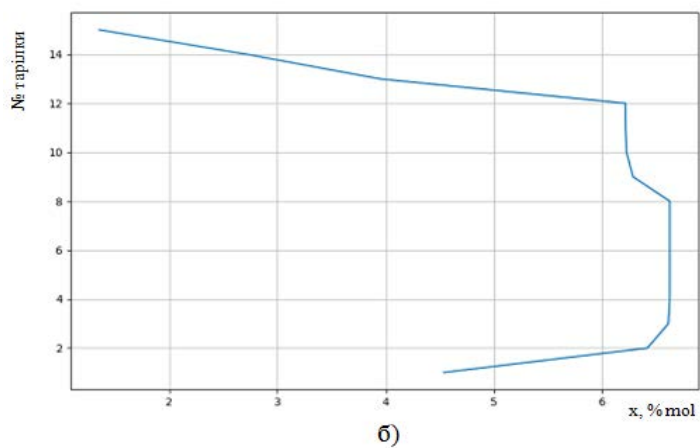
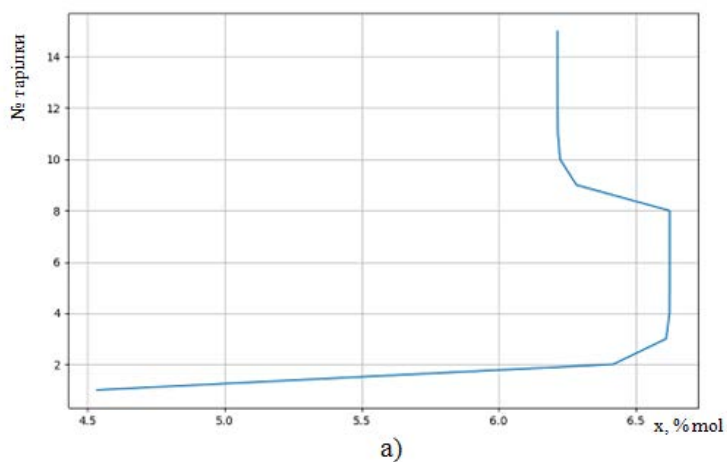


Рис. 5. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колонії, живлення 35% об.

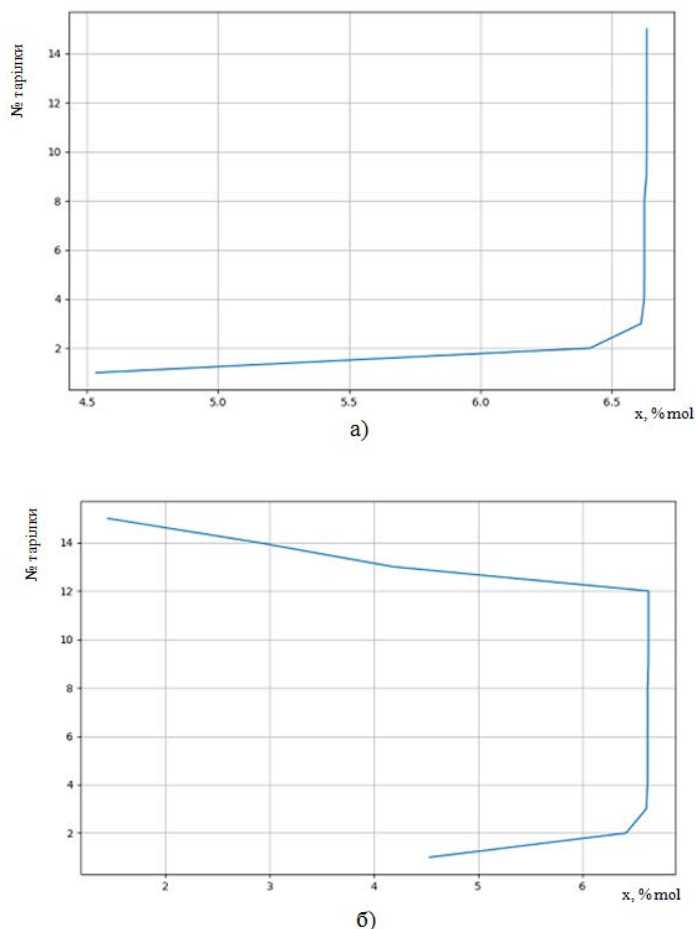


Рис. 6. Графік розподілу концентрації етанолу по тарілках колони, живлення 33% об.

На рис. 4—6 видно, що місце подачі води на гідроселекцію та її розподілення між точками вводу суттєво впливає на концентрації спирту.

Висновки. Дана технологія гідроселекції надає можливість створити оптимальні умови вилучення домішок як головного, так і проміжного характеру за рахунок вирівнювання концентрації етанолу по всій висоті колони. Виходячи із положення, що легкість основної маси домішок збільшується із зменшенням концентрації етанолу, перевага надається режиму II, оскільки концентрація на тарілках верхньої та нижньої частин колони менша, ніж на середніх тарілках.

Для досліджуваних умов оптимальною є концентрація живлення 33% об. з розподіленням води на гідроселекцію в пропорції: живлення — 42%, 15 тарілка — 58%. При зміні будь-якого із вхідних параметрів оптимальне значення повинно бути перераховано.

ЛІТЕРАТУРА

1. Цыганков П. С. Ректификационные установки спиртовой промышленности / П. С. Цыганков. — М. «Легкая и пищевая пром-сть», 1984. — 336 с.

2. Булий Ю. В. Оптимизация работы колонн по извлечению и концентрированию органических примесей этилового спирта в режиме циклической ректификации / Ю. В. Булий, П. Л. Шиян, А. П. Дмитрук // Пиво и напитки. — 2012. — № 6. — С.43—45.

3. Малета В. Н. Интенсификация процесса массообмена при циклической работе аппаратов пищевых производств: дис... канд. техн. наук: 05.18.12 / В. Н. Малета; Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти. — К., 1988. — 222 с.

4. Патент України на винахід № 86901 МПК В01D 3/30, В01D 3/14. Спосіб епюрації / Малета В. М., Таран В. М., Малета Б. В., Малета О. В. — № а 2007 14501; заяв. 24.12.2007; опубл. 25.05.2009. — Бюл. № 10.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЦЕНТНОГО СОСТАВА ЭТАНОЛА ПО ТАРЕЛКАМ КОЛОННЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ

А. Е. Шевченко, О. В. Бедрик

Национальный университет пищевых технологий

В. Н. Малета

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

В статье рассмотрено моделирование распределения концентраций этанола по тарелкам колонны концентрации примесей при различных условиях ее работы. Определено, что, в первую очередь, на эффективность извлечения примесей влияет концентрация этанола. С уменьшением концентрации этанола летучесть основной массы примесей увеличивается. С другой стороны, значительное разбавление спиртовых погонов водой для гидроселекции приводит к перерасходу энергии в дальнейшей их переработке. Таким образом, для промышленности важно оптимизировать распределение концентраций этанола по тарелкам колонны с достижением максимального эффекта удаления примесей при фиксированном значении концентрации этанола в кубе колонны. В качестве инструмента оптимизации используется математическое моделирование, а объектом моделирования являются колонны с циклическим режимом работы как одни из самых эффективных. Проведенные расчеты показали, что место подачи гидроселекционной воды существенно меняет картину распределения этанола. Соотношение потоков определялось путем расчетов математической модели для заданных входных параметров.

Ключевые слова: *циклическая дистилляция, колонна концентрации примесей, концентрат главной фракции, гидроселекция, математическое моделирование.*

УДК 620.168.16

CORROSION-MECHANICAL DURABILITY OF DETAILS OF EQUIPMENT OF DAIRIES

M. Skyba, N. Stechyshyna*Khmelnyskyi National University*

Key words:

cavitation,
knowledge,
composition of electrical
protection (CEP),
waterless nitrogen in the
last discharge (BATR)),
corrosion-mechanical wear
resistance (CMZ)

Article history:

Received 15.09.2019
Received in revised form
02.11.2019
Accepted 20.11.2019

Corresponding author:

av.mart@ukr.net

ABSTRACT

The types of equipment parts wear in milk processing plant are analyzed depending on the type of environment. Parts of equipment that show the greatest level of depreciation (wear) has been detected.

Analysis of food processing industry environments and the specifics of interaction of working parts, equipment surfaces with it allows us to identify six cases of corrosion-mechanical wear (CMW) that occurs in the metal-medium (M+M) system: corrosion, erosion, cavitation-erosion, chemical -mechanical, gas and hydro-abrasive wear.

To increase the corrosion and cavitation-erosion wear resistance of carbon steels, a technology for applying complex composite coatings (CCC) has been developed. CCCs are formed on the basis of a nickel matrix, which is filled with particles of silicon carbide of different fractional - nano and 5 μm (Ni+SiCnano and Ni+SiC5), which made it possible to increase the corrosion resistance of steel 45 by 2.4; 4.5; 3.0; 4.8 times in water, 3% sodium chloride solution, acidic and alkaline model environments, respectively. It has also been shown that CCCs with SiCnano and SiC5 particles on average increase by 6 times the wear resistance of steel 45 normalized in hard water, 11 times in a 3% NaCl solution, and more than 16 times in an acidic medium.

The test results of the impellers and pump covers for the developed Zero-hydrogen nitriding in a glow discharge (BATR) technology at the Khmelnytsky oil and cheese plant when pumping saline solutions showed that their service life increased by 7.4 times, and when pumping tap water by 8.7 times.

Cavitation-erosion wear resistance of 40X nitrided steel samples by the developed method (medium temperature shock tests and BATP at 520°C) increased 1.5 times in 3 hours of testing in a cheese dairy, with the known ion nitriding method.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-15

© М. С. Скиба, Н. М. Стечишина, 2019

КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ МОЛОКОЗАВОДІВ

М. Є. Скиба, д-р техн. наук

Н. М. Стечишина

Хмельницький національний університет

Проаналізовано види зношування деталей обладнання молокозаводів залежно від виду середовища. Виявлено найбільш зношувані деталі. Для підвищення корозійної та кавітаційно-ерозійної зносостійкості вуглецевих сталей розроблено технологію нанесення комплексних композиційних покриттів (КЕП). Запропоновано методи зміцнення металевих поверхонь — безводневе азотування в тліючому розряді (БАТР) та нанесення композиційних електролітичних покриттів.

Результати випробувань робочих коліс і кришок за розробленою технологією БАТР на Хмельницькій маслосирбазі при перекачуванні соляних розчинів показали, що термін їх служби збільшується в 7,4 раза, а при перекачуванні водопровідної води — у 8,7 раза. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість азотованих зразків сталі 40Х розробленим способом (середньотемпературна ТЦО та БАТР при 520°C) збільшилася в 1,5 раза за 3 год випробувань у сироватці, порівняно з відомим способом іонного азотування.

Ключові слова: кавітація, зношування, композиційні електролітичні покриття (КЕП), безводневе азотування в тліючому розряді (БАТР), корозійно-механічна зносостійкість (КМЗ).

Постановка проблеми. Однією з найважливіших проблем підвищення надійності і довговічності обладнання харчових виробництв є підвищення корозійно-механічної зносостійкості (КМЗ) деталей, які контактують з корозійно-активними середовищами підприємств харчової промисловості. Зупинка обладнання спричиняє великі збитки не лише внаслідок зменшення об'єму продукції, але й від можливого псування продуктів переробки.

На ремонт обладнання, підтримку його працездатності в системі Мінагропрому протягом 6 років витрачаються кошти, що дорівнюють вартості виробничих фондів усієї галузі [1].

У загальній проблемі підвищення надійності і довговічності роботи обладнання харчових виробництв важливе значення має підвищення зносостійкості деталей обладнання молокозаводів, які підлягають корозійно-механічному зношуванню при контакті із специфічними хімічно-активними середовищами виробництва молочних і кисло-молочних продуктів.

М. М. Хрущов вперше виділив КМЗ як окремий вид зношування, де вказується, що механічне зношування, підсилене явищами корозії, є корозійно-механічним. Також дослідник виділяє групи видів КМЗ і зауважує, що у випадку КМЗ основною є взаємодія середовища з матеріалами тіл, які труться, з подальшим механічним видаленням продуктів взаємодії.

На сьогодні КМЗ — один із видів зношування, закріплений ГОСТ 23.002-72, де він розглядається не лише, як процес тертя між двома металами, в зону контакту яких проникають корозійно-активні середовища, тобто в системах метал+середовище+метал (М1+С+М2), але і в системах метал + середовище (М+С). Так,

у [2] виділено п'ять випадків КМЗ металевих деталей, зокрема «корозійну кавітацію» і «корозійну ерозію».

На основі узагальнення власних експериментальних досліджень і аналізу праць наукової школи Г. О. Прейса та зарубіжних учених [3—7] розроблена схема перебігу процесів КМЗ при терті та при кавітаційно-ерозійному зношування [8; 9].

Враховуючи, що процеси руйнування при зношуванні починаються з поверхневих шарів металів основна увага приділена таким, на думку авторів, найбільш перспективним способам поверхневого зміцнення, як формування на металах композиційних електролітичних покриттів (КЕП) та застосування безводного азотування в тліючому розряді (БАТР).

Мета дослідження: на основі обстеження деталей обладнання молокозаводів визначити вид та інтенсивність зношування залежно від електрохімічних характеристик середовища і навантаження їх поверхонь та розробити технології поверхневого зміцнення.

Матеріали і методи. Досліджували вуглецеві сталі 20, 45, 40Х, сірий чавун СЧ20 при їх контакті з середовищами молокозаводів. Проводили візуальний огляд поверхонь зношування, електрохімічні вимірювання, рентгеноструктурний аналіз зношених поверхонь, хімічний аналіз продуктів зношування.

Результати досліджень. Основним технологічним середовищем молокопереробних виробництв є молоко, яке складається з 250 основних компонентів: 25 основних жирних кислот, 20 амінокислот, 25 молочного цукру, 45 мінеральних речовин і мікроелементів, 25 вітамінів, значної кількості важливих для обміну речовин ферментів і гормонів, а також містить імунні тіла, пігменти, фосфатиди, лимонну, щавлеву та інші кислоти і гази.

Молоко є неоднорідною біологічною рідиною, полідисперсною системою, в якій окремі компоненти знаходяться у різному ступені подрібнення. Дисперсна система складається з двох основних частин: води або плазми (дисперсійне середовище і компоненти молока) і дисперсна фаза (сухі речовини).

Вміст води в молоці коливається від 83 до 89% і вона може бути вільною, зв'язаною, набухання і кристалізаційною [10].

До складу сухих речовин входять усі компоненти молока (білок, жир, молочний цукор, мінеральні солі тощо). Від вмісту сухих речовин залежить поживна цінність молока. За вмістом сухих речовин (СР) обчислюють вихід готових молочних продуктів.

Найбільш перемінною складовою частиною молока є жир (ліпіди), вміст якого сягає 2,7...6,0% і який складається на 97,5% з простих і 2,5% складних ліпідів [10]. Перші являють собою складні ефіри спирту і жирних кислот, а другі — ефіри, в яких жирні кислоти з'єднані з гліцерином.

Молоко містить також білкові і небілкові азотисті з'єднання (2,2...4,0%), моносахариди (4,0...5,5%), які є основою процесу бродіння для одержання сиру, кисломолочних продуктів, молочних напоїв, а також мінеральних речовин і солей (біля 1%). У молоко входить до 80 елементів періодичної системи Менделєєва [11].

Густина молока знаходиться в межах 1027...1032 кг/м³ при температурі 200С, а його кислотність РН 6,3...6,9. Тобто молоко має слабокислу реакцію [10]. Крім того, молоко має буферні властивості, які обумовлені наявністю білків і фосфатів [11].

Залежно від температурного режиму обробки виробляється пастеризоване, топлене і стерилізоване питне молоко.

Пастеризоване молоко (нагрів до температур не вище 100°C з різною витримкою) випускається у виді цільного, підвищеної жирності, білкового, вітамінізованого, нежирного. Цільне молоко може бути натуральним, нормалізованим і відновленим, які відрізняються, в основному, вмістом жиру, білка та вмістом сухих речовин. Кислотність різних видів молока становить РН 6,5, а для молока підвищеної жирності — РН 6,9 [11].

Більша частина молока підлягає переробці, в результаті якої отримують основний продукт і побічний (вторинний). При виробництві вершків, сметани побічним продуктом є знежирене молоко, при виготовленні масла — знежирене молоко і маслянка, а при отриманні сиру, казеїну — сироватка.

Кисломолочні продукти залежно від виду бродіння поділяються на продукти лише молочнокислого бродіння (кисле молоко, йогурт, сир, сметана) і продукти змішаного бродіння (кефір, кумис). У процесі виробництва цих продуктів, крім кисломолочного бродіння, відбувається спиртове, тож разом з молочною кислотою утворюються леткі кислоти, етиловий спирт і вуглекислий газ [10]. Кисломолочні продукти виготовляють з пастеризованого молока.

Молочні продукти необхідної якості характеризуються такими показниками РН: питне молоко — 6,6...6,8; йогурт — 4,0...4,3; закваска — 4,4...4,6; маслянка від солодковершкового масла — 6,4...6,6; кисломолочні вершки — 4,6...4,9; сироватка — 4,3...6,5 [12].

У молочній промисловості широко застосовують розчини хлориду натрію різної концентрації: від 0,5...2,5% — при виробництві масла, 1,5...8% — при виробництві твердого сиру, а розсоли для посолу сирів містять до 22% NaCl [12]. Крім того, для підтримки санітарного стану приміщень, ємностей, апаратури й обладнання підприємств молочної промисловості широко використовують миючі засоби.

За призначенням у технологічному процесі галузі робочі середовища поділяються на три класи: 1 — молоко і молочні продукти (пастеризоване і стерилізоване молоко, сметана, масло, кисло-молочні продукти, сири, казеїн, альбумін тощо); 2 — технологічні водянні розчини (росоли, холодна і горяча вода, пара, волога насичена атмосфера тощо); 3 — органічні і неорганічні миючі засоби (кальцинована сода, їдкі луги, силікати, фосфати, азотна, соляна, фосфорна та інші кислоти).

Таким чином, середовища молочних виробництв надзвичайно різноманітні за своїм складом, фізико-механічними, хімічними і електрохімічними властивостями і відносяться до середовищ з нейтральними, кислими та лужними реакціями.

Аналіз видів середовищ молочної промисловості й особливостей взаємодії з нею робочих органів, деталей, поверхонь обладнання дає змогу виділити шість випадків корозійно-механічного зношування (КМЗ), які проходять у системі метал—середовище (М+С): корозійне, ерозійне, кавітаційно-ерозійне, хіміко-механічне, газо- і гідроабразивне зношування (рис. 1).

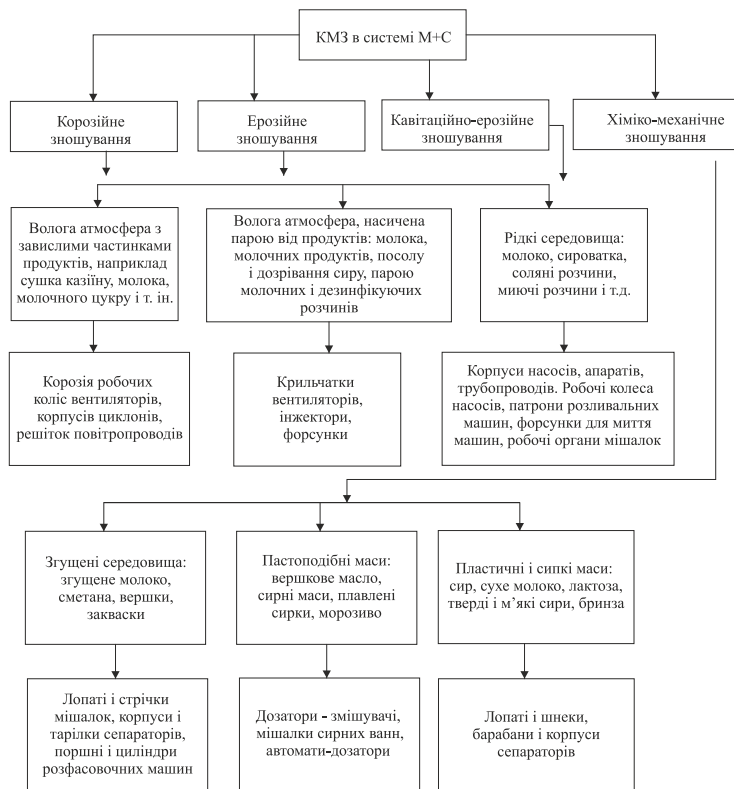


Рис. 1. Схема підвидів КМЗ у системі М — С обладнання молокозаводів

Проведене розділення середовищ молочної промисловості дещо умовне. Так, корозійне, ерозійне і кавітаційно-ерозійне зношування у вологій атмосфері і рідких середовищах при великих швидкостях відносного переміщення деталей і середовища переважає газо- і гідроерозійне, або при наявності абразивних частинок, гідроабразивне або кавітаційно-ерозійне зношування. При невисоких швидкостях — корозійне зношування.

Аналіз зношених деталей у згущених, пастоподібних, пластичних і в сипких середовищах показав, що вони підлягають інтенсивному зношуванню, яке за своїм характером та інтенсивністю суттєво відрізняється від інших видів КМЗ. Такий вид КМЗ вперше виділено Г. О. Прейсом, який назвав його хіміко-механічним (рис. 1). У згущених середовищах (згущене молоко, сметана, вершки) такому виду зношування підлягають лопаті і стрічки мішалок, корпуси і тарілки сепараторів, поршні та циліндри фасувальних машин. У пастоподібних масах (вершкове масло, сирні маси, плавлені сирки, морозиво) найбільш інтенсивно зношуються мішалки сирних мас, дозатори-змішувачі, а в пластичних і сипких продуктах (сир, сухе молоко, лактоза, бринза) — лопаті та шнеки, барабани і корпуси сепараторів. Основний вид зношування при цьому корозійний, а супутній — механічне руйнування утворених продуктів корозії.

На основі обстеження умов роботи обладнання молокозаводів та аналізу літератури встановлено, що у більшості випадків переважає корозійно-механічне зношування, але його часто супроводжують втомне, ерозійне, гідроабразивне, окисне, корозійне та ін. Так, корозійне зношування деталей внаслідок їх контакту з вологою атмосферою із завислими частинками продуктів при сушці молока, казеїну, молочного цукру викликає корозію робочих коліс вентиляторів, корпусів циклонів, решіток повітропроводів. Волога атмосфера насичена паром від молока, молочних продуктів, посолу і дозрівання сиру, паром дезинфікуючих розчинів є також причиною ерозійного зношування крильчаток вентиляторів, інжекторів і форсунок. Рідкі середовища — молоко, сироватка, соляні та миючі розчини, молочна кислота тощо приводять до кавітаційно-ерозійного зношування корпусів насосів, апаратів, трубопроводів, робочих коліс насосів.

Для зміцнення поверхонь деталей молокозаводів проведено дослідження впливу безводневого азотування в тліючому розряді (БАТР) на фізико-хімічні характеристики металів.

Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що незалежно від складу газової атмосфери в поверхневому шарі утворюється ϵ (Fe_{2-3}N), γ' (Fe_4N) і α — фази. При цьому фазовий склад і співвідношення фазових структур в азотованому шарі можна регулювати шляхом зміни режимних параметрів азотування T , C і p (рис. 2, *a*, *b*, *c*).

Аналіз отриманих залежностей показує, що найбільш суттєво впливає на кількість утворення тих чи інших фаз температура процесу іонного азотування. Так, з її підвищенням, зменшується кількість ϵ -фази в поверхневому шарі (рис. 2, *a*) і одночасно збільшується кількість γ' і α — фаз (рис. 2, *b*, *c*). Із збільшенням вмісту азоту і тиску газової суміші збільшується кількість ϵ — фази (рис. 2, *a*) і зменшується кількість γ' — фази (рис. 2, *b*). При цьому концентрація азоту і тиск газової суміші практично не впливає на вміст α — фази (рис. 2, *c*), кількість якої контролюється лише температурою іонного азотування в тліючому розряді, яка, у свою чергу, залежить від енергетичних характеристик процесу (густини струму і напруження на електродах газорозрядної камери).

Завдяки різкій різниці фізико-хімічних властивостей фазових структурних складових азотованого шару і регулюванню їх кількості і співвідношення між ними з'являються широкі можливості для отримання шарів із заданими характеристиками поверхонь.

Як показали дослідження [5; 13], структура азотованого шару і його фазовий склад визначають експлуатаційні характеристики виробів. Зокрема, для відкритих пар тертя (зубчасті колеса, зірочки ланцюгових передач, пальці конвеєрів тощо) застосовуються деталі з високою твердістю, сформовані на основі ϵ — фази (Fe_2N). Для закритих пар тертя (підшипники ковзання, зубчасті колеса, коробки передач тощо) необхідне формування азотованого шару з розвинутою нітридною зоною, яка складається з малоазотистих пластичних нітридних фаз γ і γ' (Fe_3N і Fe_4N), які добре приробляються та локалізують пластичні деформації і перешкоджають розвитку процесу руйнування деталі.

Основний внесок у підвищення границі витривалості при знакозмінних навантаженнях має зона внутрішнього азотування (α — фаза). Для підвищення жароміцності також основне значення має зона внутрішнього азотування, але 2-го роду, тобто коли утворюються нітриди легуючих елементів TiN , ZrN і HfN [13].

У випадку експлуатації деталей у корозійних середовищах при підвищених температурах бажано отримувати дифузійні шари з поверхневою нітридною зоною.

Володіючи високою корозійною стійкістю, ε -фаза блокує транспорт атомів кисню в матрицю і перешкоджає дії ефекту адсорбційного пониження міцності (ефект Ребіндера) в статичних умовах і в умовах дії знакозмінних напружень [4; 13].

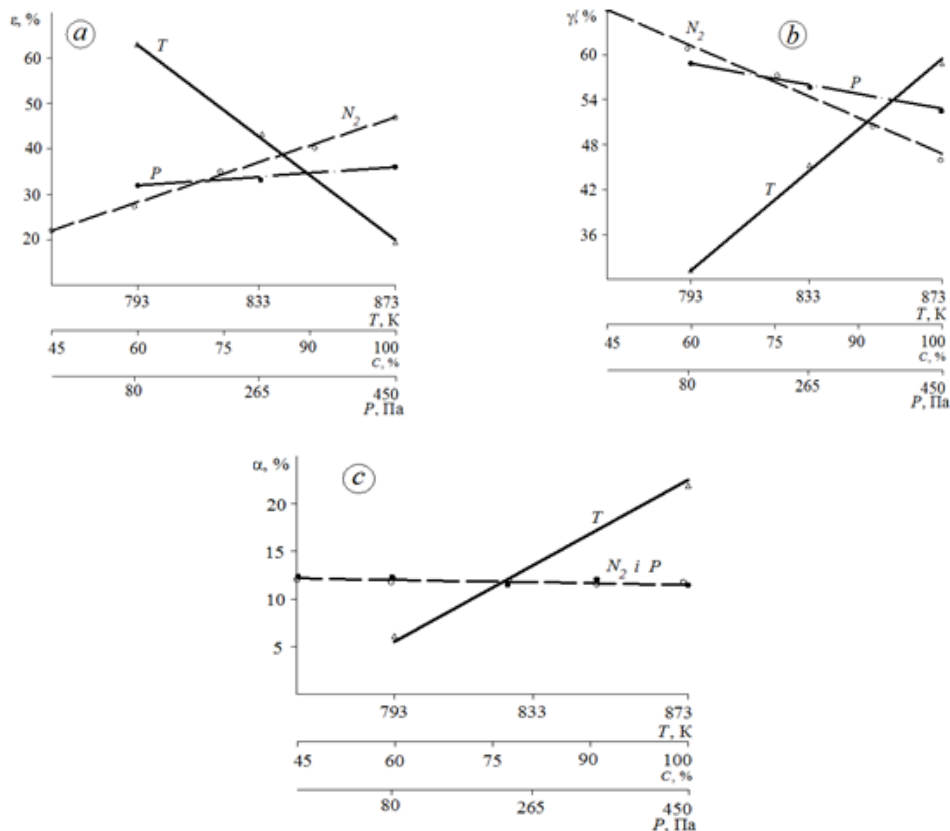


Рис. 2. Залежність фазового складу дифузійного шару сталі 40Х від режимів іонного азотування (T ; C ; p): а) вміст ε -фази, б) γ' -фази і в) α -фази, %

Проведені дослідження показують, що фазовий склад і співвідношення фазових структур в азотованому шарі можна регулювати шляхом зміни параметрів БАТР: складу газової атмосфери в камері, тиску і температури.

Аналіз отриманих даних також показує, що найбільш суттєво впливає на кількість утворених тих чи інших фаз температура БАТР. Так, з її підвищенням зменшується кількість ε -фази і збільшується кількість γ' і α -фаз. При цьому вміст азоту і тиск газової суміші не впливає на кількість α -фази, вміст якої контролюється лише температурою процесу азотування [5]. Проведені дослідження вказують і на те, що товщина нітридної зони, загальна товщина дифузійного шару, мікротвердість поверхні, величина і характер розподілу напружень стиску контролюються, в основному, температурою процесу азотування.

Вище сказано, що максимум внутрішніх напружень стиску знаходиться на віддалі 10...15 мкм від поверхні, тобто після проходження ξ і ε — фаз. ξ — фаза утворюється в результаті фазової перекристалізації при охолодженні в тих областях ε — фази, де концентрація азоту складає 11...11,35% по масі [13]. ξ і ε — фази

містять велику кількість пор, стінки яких окиснені. Окиснення стінок пор проходить при охолодженні зразків на поверхні внаслідок того, що поверхневі об'єми ε — фази з'єднані з поверхнею каналами, які пропускають кисень повітря. Таким чином, у процесі зародження і розвитку фаз проходить релаксація залишкових напружень і їх зсув в глибину дифузійного шару. Наявність цих мікропор і мікротріщин сприяє інтенсивному корозійно-механічному зношуванню, особливо на початковому етапі циклічних навантажень при терті та кавітації. Отже, зменшення температури азотування призводить до збільшення максимуму залишкових внутрішніх напружень, що спричиняє зменшення поверхневої мікропористості і збільшення циклічної довговічності поверхні.

Випробовування на кавітаційно-ерозійну зносостійкість азотованих зразків СЧ20 в 3% розчині хлориду натрію показали, що зносостійкість зміцнених зразків майже в 9 разів вища порівняно з неазотованими (рис. 3, а). Кавітаційно-ерозійна зносостійкість сталей 20 і 45 в цьому ж середовищі після азотування зросла в 4,7 і 5,3 раза відповідно (рис. 3, б). Останнє пояснюється підвищенням фізико-механічних корозійних і втомних характеристик азотованого шару поверхонь металів.

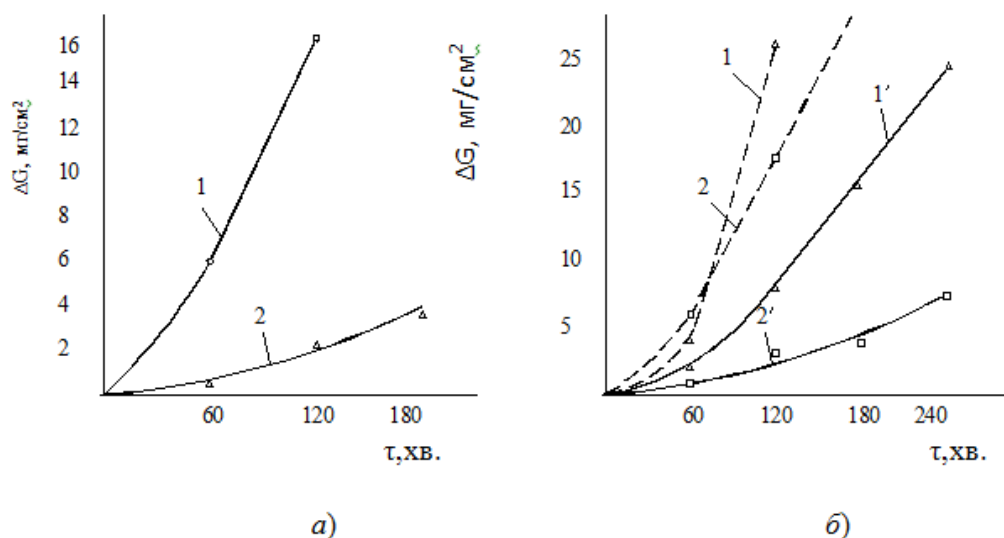


Рис. 3. а) кавітаційно-ерозійна зносостійкість сірого чавуну СЧ20:

1 — до азотування і 2 — після азотування;

б) сталей: 1 і 1' — сталь 20; 2 і 2' — сталь 45 відповідно до і після азотування в 3% розчині кухонної солі

Результати випробувань робочих коліс і кришок за розробленою технологією БАТР на Хмельницькій маслосирбазі при перекачуванні соляних розчинів показали, що термін їх служби збільшується в 7,4 раза, а при перекачуванні водопровідної води у 8,7 раза.

Для підвищення корозійної та кавітаційно-ерозійної зносостійкості вуглецевих сталей також розроблена технологія нанесення комплексних композиційних покриттів (КЕП). КЕП сформовані на основі нікелевої матриці, що наповнена частинками карбіду кремнію різної фракційності — нано і 5 μm ($\text{Ni}+\text{Si}$ нано та $\text{Ni}+\text{SiC}_5$), які дає змогу збільшити корозійну стійкість сталі 45 в 2,4; 4,5; 3,0; 4,8 раза у воді, 3% розчині кухонної солі, кислому і лужному модельних середовищах

відповідно. Також показано, що КЕП з частинками SiСнано і SiC₅ в середньому в 6 разів підвищують зносостійкість сталі 45 нормалізованої в жорсткій воді, в 11 разів в 3-відсотковому розчині NaCl і більше ніж в 16 разів — у кислому середовищі [9].

Результати випробувань робочих коліс і кришок за розробленою технологією БАТР на Хмельницькій маслосирбазі при перекачуванні соляних розчинів показали, що термін їх служби збільшується в 7,4 раза, а при перекачуванні водопровідної води — у 8,7 раза.

Кавітаційно-ерозійна зносостійкість азотованих зразків сталі 40Х розробленим способом (середньотемпературна ТЦО та БАТР при 520°C) збільшилася в 1,5 раза за 3 год випробувань у сироватці, порівняно з відомим способом іонного азотування [9].

ЛІТЕРАТУРА

1. Елагина О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: учеб. пособие / О. Ю. Елагина. — М.: Университетская книга; Логос, 2009. — 488с.
2. Томашов Н. Д. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. Сер. «Успехи современного металловедения» / Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова. — М.: Металлургия, 1973. — 232с.
3. Сологуб Н. А. Прогнозирование и повышение долговечности деталей технологического оборудования сахарных заводов: дис. в форме научного доклада на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. «Машины і апарати харчової промисловості» / Н. А. Сологуб. — К., 1993. — 57с.
4. Некоз А. И. Разработка методов оценки и повышения долговечности деталей оборудования пищевой промышленности, подверженных кавитационно-эрозионному изнашиванию: автореф. дис. на соискание. ступени докт. техн. наук: спец. «Машины и аппараты пищевой промышленности» / А. И. Некоз. — К., 1985. — 43с.
5. Стечишин М. С. Довговічність деталей обладнання харчової промисловості при корозійно-механічному зношуванні: автореф. дис. на здобуття ступеня докт. техн. наук: спец. «Тертя та зношування в машинах» / М. С. Стечишин. — Хмельницький, 1998. — 32с.
6. M. Reyes and A. Neville, "Mechanisms of Erosion-Corrosion on a Cobalt-Base Alloy and Stainless-Steel UNS S17400 in Aggressive Slurries" J. Mater. Eng. Perform., vol. 10, no. December, pp. 723—730, 2001.
7. D. Kumar Goyal, H. Singh, H. Kumar, and V. Sahni, "Slurry erosion behaviour of HVOF sprayed WC-10Co-4Cr and Al₂O₃+13TiO₂ coatings on a turbine steel" Wear, vol. 289, pp. 46—57, 2012.
8. Прейс Г. А. О коррозионно-механическом изнашивании металлов. / Г. А. Прейс, А. Б. Новицкий // Пробл. трения и изнашивания. Респ. Межвед. науч. — техн. сб., 1982. — Вып. 22. — С. 3—8.
9. Стечишин М. С. Кавітаційно-ерозійна зносостійкість деталей обладнання молокозаводів: монографія / М. С. Стечишин, Н. М. Стечишина, А. В. Мартинюк. — Хмельницький: ХНУ, 2018. — 148с.
10. Горбатова К. К. Биохимия молока и молочных продуктов. / К. К. Горбатова. — М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. — 344с.
11. Барабанщиков И. В. Молочное дело / И. В. Барабанщиков. — М.: Колос, 1983. — 414 с.
12. Галат Б. Ф. Справочник по технологии молока. / Галат Б. Ф., Машкин Н. И., Козача Л. Г. — К.: Урожай, 1990. — 192с.
13. Лахтин Ю. М. Структура и прочность азотированных сплавов / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. — М.: Металлургия, 1982. — 176с.

КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ МОЛОКОЗАВОДОВ

Н. Е. Скиба, Н. М. Стечишина

Хмельницкий национальный университет

Проанализированы среды молокозаводов и виды изнашивания деталей их оборудования. Выявлены наиболее изнашиваемые детали. Для повышения коррозионной и кавитационно-эрозионной износостойкости углеродных сталей разработана технология нанесения комплексных композиционных покрытий (КЭП).

Результаты испытаний рабочих колес и крышек насосов за разработанной технологией БАТР на Хмельницкой маслосырбазе при перекачивании солевых растворов показали, что срок их службы увеличился в 7,4 раза, а при перекачивании водопроводной воды — в 8,7 раза. Кавитационно-эрозионная износостойкость азотированных образцов стали 40Х разработанным способом (среднетемпературная ТЦО и БАТР при 520°C) увеличилась в 1,5 раза за 3 ч испытаний в сывортке, в сравнении с известным способом ионного азотирования.

Ключевые слова: кавитация, износ, композиционные электролитические покрытия (КЭП), безводородное азотирование в тлеющем разряде (БАТР), коррозионно-механическая износостойкость (КМЗ).

УДК 664.653.05:001.891.5

SUBSTANTIATION THE EFFECTIVE CONSTRUCTION OF WORKING MEMBERS OF DOUGH KNEEDING MACHINES

M. Shpak, O. Danyleichuk*Techinservice Manufacturing Group***O. Litovchenko, O. Chepeliuk***National University of Food Technologies*

Key words:

kneading,
dough,
working member,
uniformity,
viscosity,
speed,
blade,
pin

Article history:

Received 15.09.2019

Received in revised form
07.10.2019

Accepted 26.11.2019

Corresponding author:

lenasandul@yahoo.com

ABSTRACT

The influence of four working types of dough mixing machines — blade, spiral, frame and stud — on the stages of the initial mixing of the components and the plasticization of the dough is shown in the article. The studies were performed using simulations in FlowVision licensed software. The simulation takes into account the properties of the test as a pseudo-plastic fluid, the viscosity and flow index n depend on the strain rate. In order to make an informed decision about the choice of a particular type of working member, it is necessary to analyze the distribution of the concentration of the mixing components at the first stage of the process and the speed of movement of the dough at the stage of plasticization.

The mixing conditions at the plasticization stage should facilitate the formation of circulating vortices. The most favorable zones of their formation are those where the product velocity is the highest and the viscosity is the lowest. The lowest dough viscosity values (20—30 Pags) are observed directly near the mixing elements in the area where they are moved. In other parts of the volume, the viscosity of the dough is much higher, reaching 200 Pág and above. Based on the analysis of the zones in which the formation of circulating vortices is observed, it is recommended to provide the following distances between the edges of the working elements and the surfaces of the equipment: for a device for mixing the frame 85...90 mm, spiral and pin 40...50 mm, blades 50...60 mm. The cross-sectional shape of the working element in which the largest area of the product's turbulence is the circle.

It is most advisable to use pins of work elements for kneading flour dough. They provide the necessary degree of mixing of the components within 40 s from the beginning of the process. Due to the small resistance, when the dough passes around the working members of this form, it becomes possible to increase the processing by increasing the speed. This, in turn, improves the performance of the kneading equipment.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-16

© М. С. Шпак, І. М. Литовченко, О. О. Чепелюк, О. В. Данилейчук, 2019

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТІСТОМІСИЛЬНИХ МАШИН

М. С. Шпак, О. В. Данилейчук

ТОВ «ВГ «Техінсервіс»

О. І. Литовченко, О. О. Чепелюк

Національний університет харчових технологій

У статті здійснено аналіз конструкцій робочих органів обладнання для замішування тістових напівфабрикатів. Продемонстровано вплив форми перемішувального пристрою на рівномірність розподілу компонентів на стадії їх змішування, а також на в'язкість тіста та його швидкість на стадії пластифікації. Обґрунтовано вибір форми поперечного перерізу робочого органа, при якій область турбулізації продукту найбільша. Доведено, що для замішування тіста середньої вологості з пшеничного борошна доцільно використовувати штифтові робочі органи, які забезпечують необхідний ступінь змішування компонентів вже за 40 с від початку процесу. Завдяки невеликому опору при обтіканні тістом робочих органів такої форми стає можливим інтенсифікувати процес шляхом збільшення частоти обертання.

Ключові слова: замішування, тісто, робочий орган, рівномірність, в'язкість, швидкість, лопать, штифт.

Постановка проблеми. Процес замішування тістових напівфабрикатів відіграє важливу роль у виробництві хлібобулочної продукції, визначаючи якість готових виробів і впливаючи на економічні показники роботи підприємства, оскільки енергетичні витрати при перемішуванні високов'язких рідин, до яких належить тісто, досить великі [1].

Ефективність перемішування компонентів насамперед залежить від режиму руху середовища, тому більшість наукових досліджень спрямовано на визначення умов, які обумовлюють або підсилюють турбулізацію течії. Досягти цього можна як зміною конструкції обладнання, так і коригуванням режимів процесу замішування, однак ці способи потребують ґрунтовних досліджень. Виробники прагнуть підвищувати якість продукції та знижувати її собівартість, тому підвищення ефективності замішування пшеничного тіста як з технологічної, так і з економічної точок зору є актуальним завданням.

Важливою класифікаційною ознакою тістомісильних машин є форма робочих органів. Серед їх великого різноманіття чітко виділяються чотири основні типи, які використовуються для замішування тіста середньої вологості (40—44%): рамні (А2-ХТЗБ), спіральні (Л4-ХТВ, Diosna, VMI Berto, Pietroberto, Восход), штифтові (ІМК–150) та лопатеві (типовими представниками є машини І8-ХТА, Х12, Стандарт). Інші конструкції перемішувальних пристроїв можуть або бути зведені до перерахованих вище, або є їх комбінацією. Кожен з цих робочих органів має свої переваги і недоліки та застосовується в хлібопекарській галузі. Обґрунтувати вибір певного виду робочого органа і частоту його обертання досить складно.

У сучасних екологічних умовах слід звертати увагу не тільки на якість продукції, а й на ефективне використання енергії, необхідної для її виготовлення. Щоб забезпечувати та підтримувати стаціонарну течію тіста, зовнішні сили повинні виконувати роботу з подолання його внутрішніх сил. Ця робота поділяється на дві частини: механічну, що передбачає передачу руху від шару до шару тіста і роботу внутрішнього тертя, що переходить у тепло. Механічна робота пов'язана з подоланням сили інерції при зміні швидкості. Обумовлений нею опір називається інерційним. Очевидно, що його величина залежить від швидкості течії й маси тістового

напівфабрикату. Робота внутрішнього тертя визначається в'язкістю, а викликаний ним опір називається в'язкісним [3].

Умови обтікання в'язкою рідиною твердої поверхні суттєво залежать від її конфігурації. У випадку замішування тіста, крім виду робочого органа, — від форми поперечного перерізу перемішувального пристрою, серед яких на сьогодні найбільш вживаними є круг або еліпс [2]. Використання відомої формули (1) для визначення гідродинамічного опору лопатей з боку рідини, яка їх обтікає, при дослідженні руху лопатей складної форми у ньютонівській рідині потребує експериментального визначення коефіцієнта лобового опору:

$$F_l = C_x \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S, \quad (1)$$

де C_x — коефіцієнт лобового опору, який залежить від форми тіла, його орієнтації в потоці й в'язкості рідини; ρ — густина, кг/м^3 ; v — швидкість, м/с ; S — так званий міделевий переріз (м^2), який являє собою найбільшу площу перерізу тіла площиною, перпендикулярною потоку.

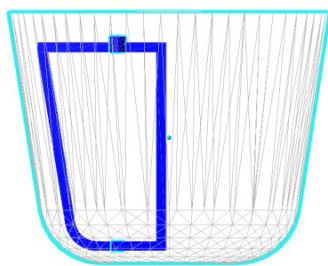
Нерівномірність розподілу тиску по поверхні тіла, несталий характер руху в області відривної течії суттєво обмежують коло завдань, які можуть бути вирішені аналітично. Вирішити цю проблему можна шляхом використання методів обчислювальної гідродинаміки, що надає можливість керувати процесом замішування, впливаючи на структуру і поведінку потоку речовини [4—6].

У хлібопекарській галузі України загальновідома тристадійна модель замішування тіста. Перша стадія — механічне змішування компонентів, друга — власне заміс, третя — пластифікація. В інших країнах традиційно виділяють більше стадій, зокрема, в США їх кількість дорівнює чотирьом [7].

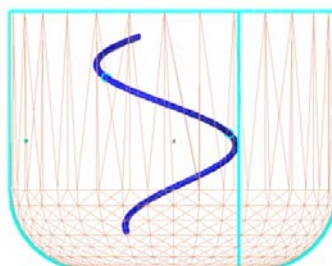
Метою дослідження є обґрунтування ефективної конструкції робочих органів тістомісильних машин на основі аналізу стадій первинного змішування компонентів і пластифікації.

Матеріали і методи. Дослідження виконані методом імітаційного моделювання. Для моделювання процесу замішування використано ліцензійний програмний комплекс FlowVision.

Процес замішування тіста промодельований окремо для стадії початкового змішування компонентів і для стадії пластифікації, що пояснюється суттєвими відмінностями властивостей тістових напівфабрикатів на цих етапах і мети, яку потрібно досягти. На першому — це суміш сипких і рідких компонентів, для якої слід забезпечити їх рівномірний розподіл, на другому — тісто, яке повинно зазнати певного механічного впливу і сформувати свою структуру. Для обох вказаних стадій процес замішування змодельований для чотирьох основних видів робочих органів (рис. 1) для вибору найбільш раціональної конструкції.



а



б

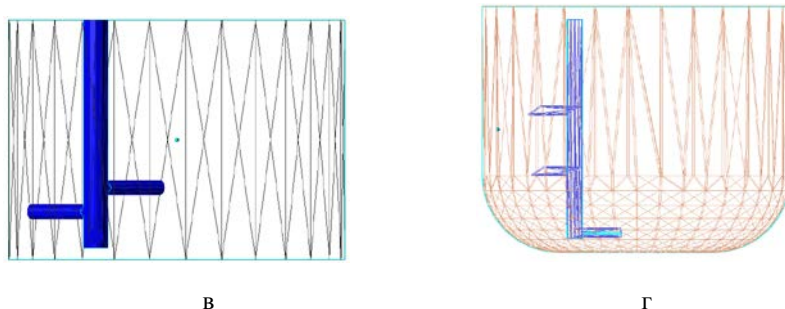


Рис. 1. 3D моделі промислових тістомісильних машин з робочими органами:
а — рамним; б — спіральним; в — штифтовим; г — лопатевим

На етапі первинного змішування розглядаємо зміну рівномірності розподілу двох компонентів — борошна та рідини. Параметрами, які проаналізовано на стадії пластифікації, є в'язкість тістової маси та швидкість її руху. Для моделювання процесу замішування хлібного тіста обрана модель «Вільна поверхня». Модель включає рівняння Нав'є-Стокса, нерозривності потоку, рівняння для турбулентної енергії k та швидкості дисипації турбулентної енергії ε . Перенесення змішуваних компонентів вирішується рівнянням конвективно-дифузійного перенесення.

При моделюванні враховано властивості тіста як псевдопластичної рідини, в'язкість η та індекс течії n якої залежать від швидкості деформації [8]. У програмі FlowVision ці залежності представлені у вигляді:

$$\begin{aligned} \eta &= 206 / \text{GRAD_MOD}(\text{МодШвидкості})^n \\ n &= 0,54 / \text{GRAD_MOD}(\text{МодШвидкості})^{0,14}, \end{aligned} \quad (2)$$

що надає можливість отримати адекватні математичні моделі.

При постановці задачі вказані об'єми, які займають компоненти до початку змішування, а також враховано демпфер градієнта тиску $\varphi=1$, який суттєво впливає на відрив приграничного шару від місильних лопатей та утворення циркуляційних вихорів.

Результати досліджень. Ефективність перемішування визначає якість процесу, і, в нашому випадку, може характеризувати рівномірність розподілу компонентів K при їх змішуванні на початковому етапі протягом 60 с (рис. 2). Початкова концентрація борошна і рідкої фази позначена як 0 і 1. Концентрація замішаного тістового напівфабрикату повинна наблизитись до 0,5.

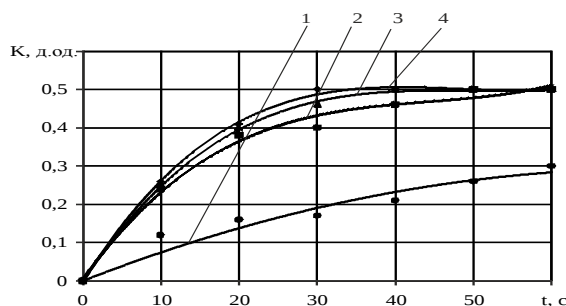


Рис. 2. Зміна рівномірності розподілу компонентів тіста в часі для робочих органів різної форми: 1 — рамний; 2 — спіральний; 3 — штифтовий; 4 — лопатевий

Встановлено, що спіральний, лопатевий і штифтовий робочі органи забезпечують достатньо рівномірний розподіл компонентів протягом заданого часу. Тривалість етапу первинного змішування для спірального місильного органа становить 55 с, для штифтового — 40 с, лопатевого — 34 с. Використання рамного робочого органа не забезпечує отримання суміші з рівномірним розподілом компонентів протягом 60 с.

Розподіл швидкостей суттєво впливає на якість перемішування, забезпечуючи оновлення поверхонь контакту рідкої і твердої фаз. Для машин із рамним робочим органом він нерівномірний (рис. 3а), внаслідок чого відбувається нерівномірне і недостатнє змішування компонентів. Максимальна швидкість спостерігається поблизу робочого органа в радіальному напрямку. Достатній рух компонентів в осьовому напрямку не забезпечується, тому використання машин із рамним робочим органом недоцільне.

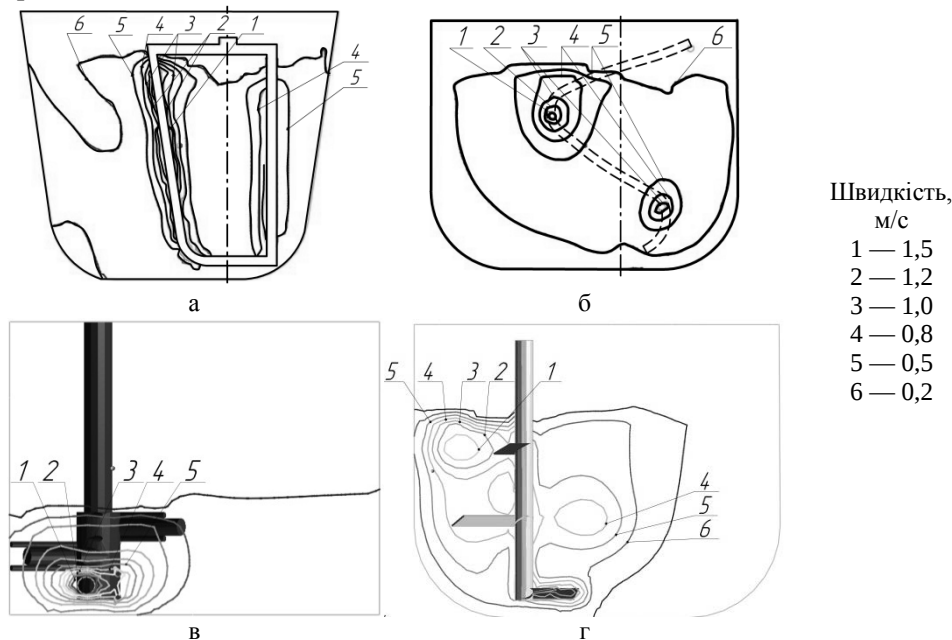


Рис. 3. Розподіл швидкості при замішуванні місильними органами:
а — рамним; б — спіральним; в — штифтовим; г — лопатевим

Швидкість переміщення компонентів при використанні спірального місильного органа більш рівномірна по всьому об'єму і досягає своїх максимальних значень поблизу робочого органа в радіальному напрямку (рис. 3б). Такий робочий орган забезпечує достатній рух компонентів в осьовому напрямку, тому його використання доцільне. Однак, враховуючи складність виготовлення спіральних органів різного поперечного перерізу, є потреба розглянути можливість використання для замішування тіста штифтових робочих органів. Крім простоти виготовлення, їх перевагою є малий опір. Максимальна швидкість при використанні штифтових робочих органів спостерігається поблизу і навколо них (рис. 3в). Для лопатевого робочого органа області з найбільш інтенсивним перемішуванням також розміщені поблизу місильних елементів, однак, порівняно зі штифтовими, їх розмір менший (рис. 3г).

На якість замішування на стадії пластифікації суттєвий вплив має виникнення циркуляційних вихорів в області проходження робочого органа. Їх утворення

залежить від в'язкості суміші, геометрії місильних органів і швидкості руху продукту в місткості. Для в'язких рідин критичним значенням критерію Рейнольдса $Re_{кр}$, при якому утворюються вихорі, є 20 [9]. Утворення вихорів є позитивним з точки зору гідродинаміки перемішування, однак призводить до підвищеної силової дії на місильні органи.

У результаті аналізу картини руху місильних органів у масі, яка замішується, отримано розподіл значень в'язкості тіста в місильній місткості. Відомо, що тісто належить до псевдопластичних неньютонівських рідин, в'язкість яких зменшується зі збільшенням градієнта швидкості деформації. Це підтверджується графічними і чисельними даними зміни в'язкості продукту в різних точках місткості (рис. 4). Області найменших показників в'язкості в цьому випадку і є, відповідно, областями найбільш ефективного перемішування.

Найменші значення в'язкості (20—30 Па·с) спостерігаються безпосередньо поблизу місильних органів. В інших частинах об'єму в'язкість тіста значно більша (досягає 200 Па·с та вище), що надає можливість визначити активну зону перемішування, тобто зону, в якій виникають сприятливі умови для виникнення циркуляційних вихорів [4]. Розмір цієї зони дуже важливий, оскільки розташування місильних лопатей відносно днища або стінок місткості на відстанях, що її перевищують, призведе до утворення застійних зон і погіршення якості тістових напівфабрикатів. На основі аналізу зон, в яких спостерігається утворення циркуляційних вихорів, рекомендовано забезпечити такі відстані між кромками робочих органів і поверхнями обладнання: для рамних перемішувальних пристроїв 85...90 мм, спіральних і штифтових 40...50 мм, лопатевих 50...60 мм.

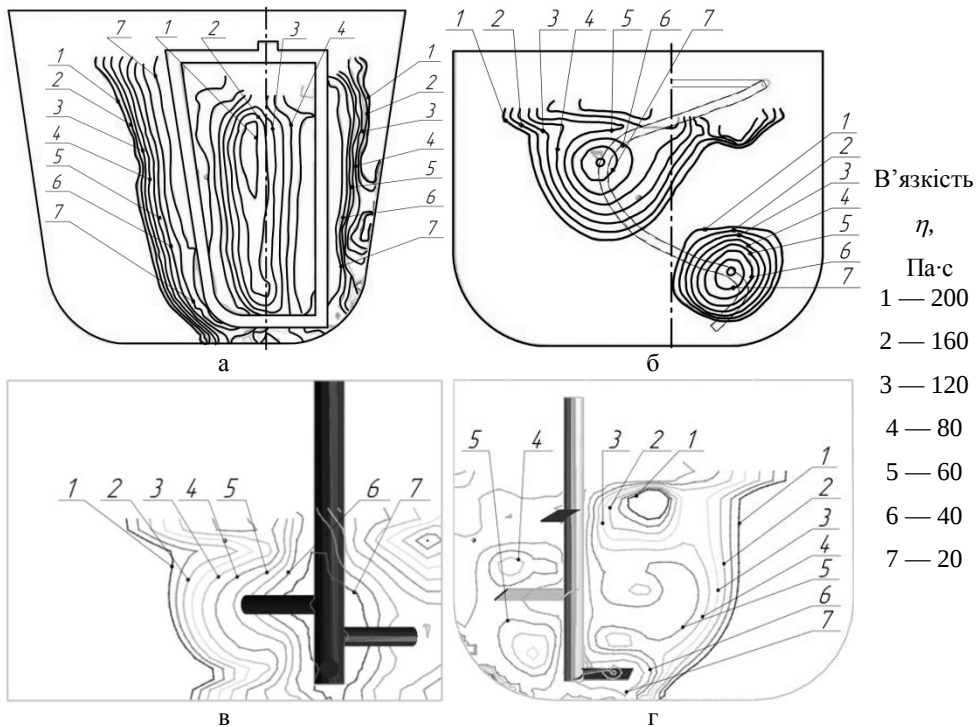


Рис. 4. Області розподілу в'язкості тіста при русі робочих органів: а — рамного; б — спірального; в — штифтового; г — лопатевого

Енергія, яка витрачається на утворення вихорів і внутрішнє тертя, пропорційна опору руху лопатей у в'язкій рідині. Основний вплив на силу лобового опору створює форма тіла, навколо якого відбувається вихороутворення. У випадку лопатей циліндричної форми сила опору циліндра потоку, який набігає, визначається залежністю:

$$F_l = \frac{4\pi \cdot \eta \cdot v}{\ln(3,7 / Re)}, \quad (3)$$

де η — в'язкість тістової маси.

Її значення для штифтових робочих органів є найменшим серед розглянутих форм, що обумовлено мінімальним коефіцієнтом лобового опору.

Проаналізувавши вплив геометрії робочих органів на величину роботи, що виконується для приведення часточок тіста в рух, і роботу, при здійсненні якої відбувається підвищення температури маси під час оброблення (для сучасних швидкісних машин вона становить понад половину витрат енергії [1]), слід зазначити, що прослідковується така тенденція: якщо зменшувати довжину робочого органа, то істотно зменшується нагрівання тіста; якщо підвищувати частоту його обертання, то корисна складова зростає набагато більше, ніж загальні витрати енергії. Виходячи з цього, а також урахувавши шляхи вдосконалення тістомісильної техніки, можна передбачити, що майбутнє за конструкціями тістомісильних машин, які мають малі розміри робочих органів стосовно місткості, але працюють на високих частотах обертання робочих органів. Найочевиднішими прикладами є робочі органи тістомісильних машин лопатевого та штифтового типу. Їх поперечний переріз являє собою прямокутник і коло відповідно.

У результаті моделювання процесу обтікання тістом робочих органів з такими профілями поперечного перерізу при набігаючому потоці зі швидкістю 1 м/с визначено геометричні параметри робочої зони, в якій відбувається інтенсивне змішування. Як роботу слід обирати зону, в якій швидкість продукту є найбільшою (рис. 5), що зумовлює значне зменшення в'язкості тіста, а це, у свою чергу, призводить до зниження енергетичних витрат у процесі змішування.

Найбільший розмір зон, де спостерігається активне перемішування, характерний для штифтових робочих органів із круглим поперечним перерізом.

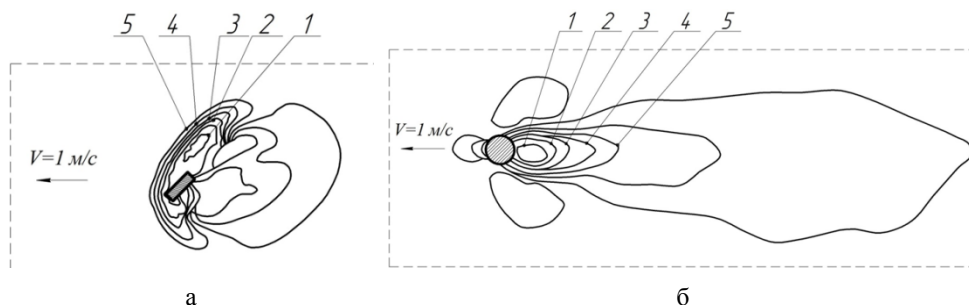


Рис. 5. Ізолнії швидкості при місильних органах різної форми поперечного перерізу (швидкість, м/с: 1 — 0,9; 2 — 0,7; 3 — 0,5; 4 — 0,3; 5 — 0,1): а — прямокутної; б — циліндричної

Незважаючи на отримання достатньо рівномірної суміші протягом найменшого часу від початку процесу (див. рис. 2), лопатеві змішувачі рідко використовуються у промисловості в конструкціях тістомісильних машин періодичної дії внаслідок створення ними несприятливих умов для обтікання тіста. Занадто велика частота обертання, необхідна для досягнення потрібної рівномірності розподілу компонентів, призводить до надлишкових витрат енергії.

Висновки. Найбільш доцільно для замішування тістових напівфабрикатів із пшеничного борошна використовувати штифтові робочі органи, які забезпечують необхідний ступінь змішування компонентів вже за 40 с від початку процесу. Завдяки невеликому опору при обтіканні тістом робочих органів такої форми стає можливим інтенсифікувати оброблення шляхом збільшення частоти обертання. Це, у свою чергу, збільшує продуктивність тістомісильної машини. При цьому слід простежити, щоб не відбувалось перегрівання тіста, і за потреби вносити відповідні зміни в конструкцію обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов В. І. Технологічне забезпечення енергоефективності у хлібопекарській галузі / В. І. Баранов // Проект «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України». — К.: ЮНІДО, 2015. — 48 с.
2. Литовченко І. М. Визначення раціональних параметрів первинного змішування компонентів в тістомісильних машинах / І. М. Литовченко, М. С. Шпак // Харчова промисловість. — 2008. — № 7. — С. 49—51.
3. Фукс Г. И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г. И. Фукс. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 328 с.
4. Biletskii E. Theoretical aspects of non-newtonian fluids flow simulation in food technologies / Eduard Biletskii, Olena Petrenko, Dmytro Semeniuk // Ukrainian food journal. — 2014. — Volume 3, Issue 2. — P. 271.
5. Ötles S. Computer-aided engineering softwares in the food industry / Semih Ötles, Ata Önal // Journal of Food Engineering. — 2004. — Volume 65, Issue 2. — P. 311—315.
6. Experimental and numerical simulation of dough kneading in filled geometries / D. M. Binding, M. A. Couch, K. S. Sujatha, M. F. Webster // Journal of Food Engineering. — 2003. Volume 58, Issue 2. — P. 111—123.
7. Stauffer C. E. Principles of dough formation / C. E. Stauffer // Technology of Breadmaking. — 2007. — New York: Springer. — Pages 299—332.
8. Литовченко І. М. Визначення параметру нелінійності реологічних рівнянь при описанні процесу перемішування хлібного тіста / І. М. Литовченко, М. С. Шпак // Наукові праці НУХТ. — 2010. — С. 85 — 87.
9. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1974.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИН

М. С. Шпак, О. В. Данилейчук

ООО «ПГ «Техинсервис»

А. И. Литовченко, Е. А. Чепелюк

Национальный университет пищевых технологий

В работе проведен анализ конструкций рабочих органов оборудования для замеса тестовых полуфабрикатов. Продемонстрировано влияние формы перемешивающего устройства на равномерность распределения компонентов на стадии их

смешивания, а также на вязкость теста и его скорость на стадии пластификации. Обоснован выбор формы поперечного сечения рабочего органа, при которой область турбулизации продукта наибольшая. Доказано, что для замешивания теста средней влажности из пшеничной муки целесообразно использовать штифтовые рабочие органы, которые обеспечивают необходимую степень смешивания компонентов уже через 40 с после начала процесса. Благодаря небольшому сопротивлению при обтекании тестом рабочих органов такой формы становится возможным интенсифицировать процесс путем увеличения частоты вращения.

Ключевые слова: замес, тесто, рабочий орган, равномерность, вязкость, скорость, лопасть, штифт.

УДК 621.01:531.43/.46

RUBBER IN TRANSPORT SYSTEMS

K. Wasylkivsky, I. Maxymenko, V. Kostyuk*National University of Food Technologies***Key words:**

friction,
glass containers,
congestion,
drive,
force,
support plane,
lateral guide

Article history:

Received 17.09.2019
Received in revised form
10.10.2019
Accepted 21.11.2019

Corresponding author:

vasilkivski@voliacable.com

ABSTRACT

The article deals with the force interactions in the systems of transportation of glass products between their fixed and moving arrays, moving support planes and restrictive guides that form the appropriate geometry. The choice of parameters of such systems is associated with the need to provide a given bandwidth, limiting the frequency of congestion, power and energy costs. It is shown that the latter are related to the need to overcome friction forces, which are manifested in two planes relative to the movable plane at levels with a support frame and a friction plane with an array of products and with side restrictive guides. Mathematical formalizations about force interactions, load distribution and possibilities of their limitations are given.

The solutions found for the construction of glassless production of glass-free glass arrays carry the potential of double improvement of the situation. First, 100% no congestion is guaranteed, and secondly, we have the ability to increase the angle β of the guide rails to 45...50°. This means that, with all things being equal, the resulting reaction from the lateral guide will decrease and a tangible parameter of influence is obtained. We emphasize that the useful capacity of the system also increases dramatically and there is an opportunity to get drives with a different ratio of geometric parameters.

In this case, the normal mode of operation may be considered as such when, despite the absence of congestion, the drive will be filled. As the velocity V_c of the conveyor of the reference plane will always be greater than the speed of movement of the products, friction forces in the pair "reference plane — products" will take place. The latter will be perceived lateral guides.

With the known number of products on the support plane, it is easy to calculate the resulting friction force, which must be balanced by the reactions N_1 and N_2 , or the complete reactions R_1 and R_2 . And in the case of a moving array, the calculations are performed using formulas obtained for congestion.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-17

ТЕРТЯ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

К. В. Васильківський, канд. техн. наук

І. Ф. Максименко, інженер

В. С. Костюк, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Стаття стосується силових взаємодій у системах транспортування скло-тарних виробів між їх нерухомими і рухомими масивами, рухомими опорними площинами та обмежувальними напрямними, які формують відповідну геометрію. Вибір параметрів таких систем пов'язаний з необхідністю забезпечення заданої пропускної здатності, обмеження частоти утворення заторів, силових дій і енергетичних витрат. Показано, що останні пов'язані з необхідністю подолання сил тертя, які мають прояв у двох площинах щодо рухомої площини на рівнях з опорним каркасом і площиною тертя з масивом виробів та з бічними обмежувальними напрямними. Наведено математичні формалізації щодо силових взаємодій, розподілу навантажень і можливостей їх обмежень, а також вибірку з масиву даних розрахунків, які відповідають пошуку положень опор бічних напрямних, що відповідають умовам мінімізації моментів згину.

Ключові слова: *тертя, склотара, затор, накопичувач, силова дія, опорна площина, бічна напрямна.*

Постановка проблеми. Сучасні лінії фасування в склотару продукції харчових виробництв мають у складі столи-розформувачі склотари і столи-накопичувачі.

Столи-розформувачі масивів склотари є складовою частиною обладнання для виймання посуду з транспортної тари, пастеризаторів (як розвантажувальних пристроїв), пляшкомиїних машин високої продуктивності тощо.

Столи-накопичувачі є засобами, які автоматичну лінію для фасування перетворюють у систему з гнучкими зв'язками і надають можливість, при інших рівних умовах, збільшувати їхню пропускну спроможність.

Відомо, що останнє досягається за рахунок зменшення взаємних впливів технологічного обладнання, що пов'язані з частотно-часовими характеристиками відмов. Але і функціонування столів-розформувачів, і столів-накопичувачів не бездоганне, адже вони характеризуються власними законами розподілу частот і подовженості відмов. На межі 98...99% такі відмови названого обладнання пов'язані з утворенням заторів. Причини виникнення їх та взаємозв'язки між силовими, геометричними і кінематичними параметрами накопичувачів досліджувалися в [1; 2].

Утворення заторів відбувається при певному розташуванні виробів і частіше так, як показано на схемах (рис. 1): 1 — рухома горизонтальна площина; 2 — бічна напрямна, положення якої збігається з напрямком руху рухомої опорної площини; 3 — бічна напрямна, яка встановлюється під кутом; 4 — виробі.

З рис. 1 видно, що затор є результатом взаємодії між опорною рухомою горизонтальною площиною, виробами і бічними напрямними. Різновиди заторів визначаються розташуванням виробів I та II. Не випадково, найчастіше вони відповідають розташуванню, як на рис. 1а і 1b, оскільки склепіння, яке утворюється, є найбільш стійким. Імовірність виникнення склепіння з трьох (рис. 1с) виробів значно менша через меншу його стійкість. Припустимою є ймовірність утворення заторів із більшим числом виробів (рис. 2), але частота їх виникнення значно менша.

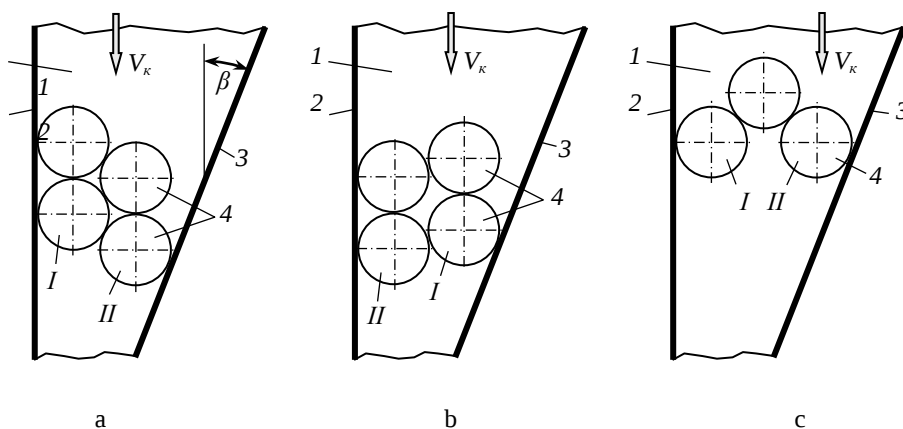


Рис. 1. Схеми утворення заторів

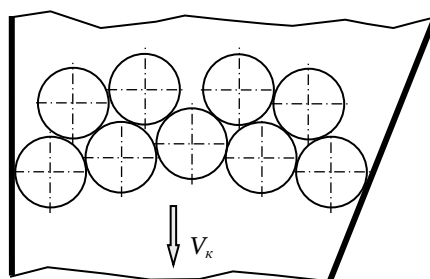


Рис. 2. Схема затору з п'яти виробів

У дослідженнях [3; 4] показані причини виникнення заторів і вказано на шляхи їх подолання за рахунок зворотно-поступального асинхронного руху бічних напрямних. Проте за межами інтересів цього дослідження залишилось визначення силової дії з боку масиву виробів на бічні напрямні. З огляду на те, що в експлуатації знаходяться сотні накопичувачів подібної геометрії і випуск їх машинобудівною галуззю продовжується, з метою удосконалення пристроїв визначимо параметри таких силових взаємодій, а також динаміку приводів бічних напрямних [5].

Мета дослідження: розроблення теорії розрахунків силових навантажень у системах транспортування і перебудови масивів виробів циліндричної форми за їх взаємодії з опорними рухомими горизонтальними площинами і бічними напрямними. Кінцевим результатом передбачається мінімізація силових параметрів за інших рівних умов і удосконалення транспортних систем.

Матеріали і методи. Теоретичне дослідження, в якому застосовані закономірності статyki, умов рівноваги, положення теорії тертя, гіпотези механіки і припущення щодо переходів від розподілених навантажень до їх рівнодіючих.

Результати дослідження. Розрахункова схема визначення силової взаємодії між виробами і бічними напрямними представлена на рис. 3.

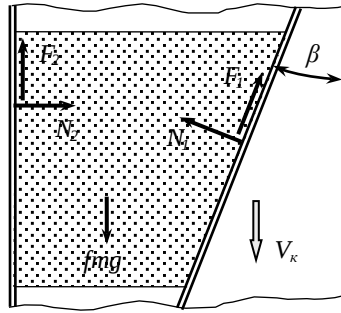


Рис. 3. Розрахункова схема визначення параметрів силової дії на рухомий масив виробів

У першому наближенні в розрахунковій моделі вважаємо, що результуюча сил тертя між опорною рухомою площиною і масивом виробів прикладається в геометричному центрі площі розташування масиву. Розподілене на бічні напрямні навантаження також представимо результуючими N_1 і N_2 . Невідомими тут є саме вказані результуючі.

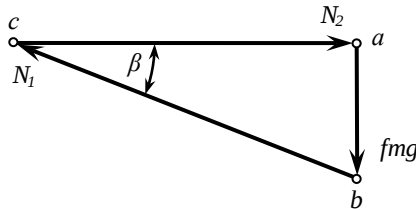


Рис. 4. План сил для нерухомого масиву

Для нерухомого масиву можна записати:

$$\bar{N}_1 + \bar{fmg} + \bar{N}_2 = 0, \quad (1)$$

де f — коефіцієнт тертя в парі, утвореній масивом виробів і опорною горизонтальною рухомою площиною; m — маса виробів в масиві; g — прискорення вільного падіння.

Напрямок результуючого вектора сил тертя fmg визначаємо з урахуванням вектора швидкості відносного ковзання (протилежно напрямку V_k), а результуючі нормальних реакцій бічних напрямних направлені перпендикулярно до них.

За цих умов можливим є графічне розв'язання векторного рівняння (1). З урахуванням масштабу плану сил μ_p (рис. 4) знайдемо величини N_1 і N_2 . При цьому:

$$\mu_p = \frac{fmg}{(ab)}, \text{ Н/м; } N_1 = (cb)\mu_p; N_2 = (ca)\mu_p. \quad (2)$$

Побудований план сил одночасно надає можливість знайти аналітичні вирази для визначення N_1 і N_2 :

$$N_1 = \frac{fmg}{\sin \beta}; N_2 = \frac{fmg}{\tan \beta}, \quad (3)$$

де β — кут сходження бічних напрямних.

Доцільно підкреслити, що в діючому обладнанні з метою обмеження частоти виникнення заторів вказаний кут сходження бічних напрямних вибирають відносно малим (від 6° до 12°). У зв'язку з цим результуючі реакції бічних напрямних N_1 і N_2 можуть набагато перевищувати значення fmg .

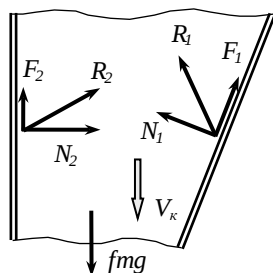


Рис. 5. Розрахункова схема з урахуванням сил тертя в дії на рухомий масив

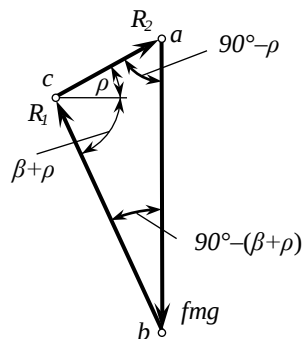


Рис. 6. План сил у дії на рухомий масив

Визначимося зі змінами в розрахункових формулах, які виникнуть з урахуванням сил тертя масивів виробів з бічними напрямними. Відомо, що повні реакції R_1 і R_2 відхилені від нормальних реакцій N_1 і N_2 на кут тертя ρ , який відповідає парі “масив — бічна напрямна” (рис. 5). План сил для цього випадку приведено на рис. 6.

Порівняно з першим випадком числові значення реакцій будуть дещо меншими, але нашому випадку відповідає рух масиву при відсутності затору.

Згідно з теоремою синусів запишемо:

$$\frac{fmg}{\sin(\beta + 2\rho)} = \frac{R_2}{\sin(90 - (\beta + \rho))} = \frac{R_1}{\sin(90 - \rho)}, \quad (4)$$

звідси
$$R_2 = \frac{fmg \sin(90 - (\beta + \rho))}{\sin(\beta + 2\rho)}; \quad R_1 = \frac{fmg \sin(90 - \rho)}{\sin(\beta + 2\rho)}. \quad (5)$$

Враховуючи одержані результати, в першому наближенні встановимо закон розподілу навантажень по довжині бічних напрямних.

З виразів (3), (5) і (6) видно, що реакції на бічних напрямних є прямо пропорційними кількості виробів у масиві. Звичайно, що говорити про визначення законів розподілу по довжині бічних напрямних можливо лише в першому наближенні у зв'язку з дискретною зміною їх кількості.

Виділивши якусь елементарну для накопичувача площу dF (рис. 7) можемо переконатися, що на ній характер залежностей для визначенню N_1 і N_2 та R_1 і R_2 залишиться попереднім. Це означає, що розподілене навантаження матиме лінійний закон розподілу, як показано на рис. 7. При цьому справедливими будуть залежності:

$$R_1 = \frac{q_{\max 1} \ell_1}{2}; R_2 = \frac{q_{\max 2} \ell_2}{2}. \quad (6)$$

$$\text{Звідси знаходимо: } q_{\max 1} = \frac{2R_1}{\ell_1}; q_{\max 2} = \frac{2R_2}{\ell_2}. \quad (7)$$

Для нерухомого масиву запишемо:

$$q_{\max 1} = \frac{2N_1}{\ell_1}; q_{\max 2} = \frac{2N_2}{\ell_2}. \quad (8)$$

Випадок навантаження бічної напрямної. Розрахунок бічної опори має за мету досягти умови міцності за умови мінімізації маси. Це важливо тому, що бічні напрямні в цій частині розвантажувального пристрою мають бути рухомими.

У першому випадку припустимо, що бічна напрямна на стояку встановлюється в точках А і В (рис. 8).

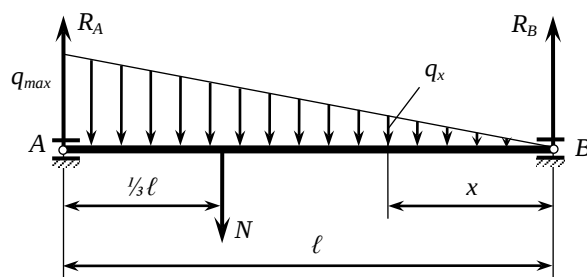


Рис. 8. Розрахункова схема навантаженої балки з фіксованими опорами

Визначаючи реакції опор R_A і R_B , врахуємо, що результуюча розподіленого навантаження прикладатиметься на $\frac{1}{3}\ell$ від опори А.

$$\text{Тоді } \sum M_B = R_A \ell - \frac{2N\ell}{3} = 0; \quad (9)$$

$$R_A = \frac{2N}{3}; R_B = \frac{N}{3}.$$

Для перерізу на відстані x від правої опори маємо:

$$q_x = q_{\max} \frac{x}{\ell}. \quad (10)$$

Тоді результуюча розподіленого навантаження на ділянці x :

$$N_x = q_{\max} \frac{x^2}{2\ell}. \quad (11)$$

Момент M_x знайдемо за виразами:

$$M_x = R_B N_x \frac{x}{3}; \quad (12)$$

$$M_x = R_B x - q_{\max} \frac{x^3}{6\ell}. \quad (13)$$

Останній вираз дає змогу знайти ту відстань x , на якій момент згину матиме екстремальне значення. Для цього візьмемо похідну від правої частини виразу (13) і порівняємо її до нуля. Тоді отримаємо:

$$R_B - q_{\max} \frac{x^2}{2\ell} = 0. \quad (14)$$

$$\text{Звідси} \quad x = \sqrt{2R_B \frac{\ell}{q_{\max}}}. \quad (15)$$

Максимальне значення моменту згину:

$$M_{\max} = R_B \sqrt{2R_B \frac{\ell}{q_{\max}}} - \frac{q_{\max} \left(\sqrt{2R_B \frac{\ell}{q_{\max}}} \right)^3}{6\ell}. \quad (16)$$

Виконаємо підрахунки для випадку, коли в масиві матимемо 50 пляшок з масою кожної 1 кг при коефіцієнті тертя $f = 0,2$ і куті $\beta = 10^\circ$. Тоді:

$$N_1 = 536 \text{ Н}; \quad R_B = 188 \text{ Н}; \quad q_{\max} = 1126 \text{ Н/м}; \quad x_{\max} = 0,578 \text{ м}; \quad M_{\max} = 72,38 \text{ Нм}.$$

Однак зрозуміло, що зміна положень точок опор А і В може спричинити певні зміни в епюрі моментів згину. Можна передбачити, що певним їх вибором систему можливо оптимізувати.

Візьмемо за приклад другий випадок, коли точка А збігається з точкою прикладання результуючої розподілених сил, тому

$$R_A = N \quad \text{і} \quad R_B = 0.$$

У цьому випадку для визначення моменту згину M_x маємо записати дві умови. На ділянці від $x = 0$ до $x = \frac{2}{3}\ell$ запишемо:

$$M_x = \frac{q_{\max} x^3}{6\ell}, \quad (17)$$

і для ділянки від $x = \frac{2}{3}\ell$ до $x = \ell$ маємо:

$$M_x = R_A \left(x - \frac{2\ell}{3} \right) - \frac{q_{\max} x^3}{6\ell}. \quad (18)$$

Екстремальне значення M_x настає при $x = \ell$, а максимальне — при $x = \frac{2}{3}\ell$.

$$M_{2\ell/3} = 55,96 \text{ Нм}.$$

Порівнюючи максимальні значення цих двох випадків, слід зазначити, що абсолютне розходження складає:

$$\Delta M = 72,38 - 55,96 = 16,42 \text{ Нм}.$$

Розв'язання цієї і аналогічних задач, маючи за мету досягнення мінімальних значень моментів згину, можна шукати на шляху використання функцій кількох змінних.

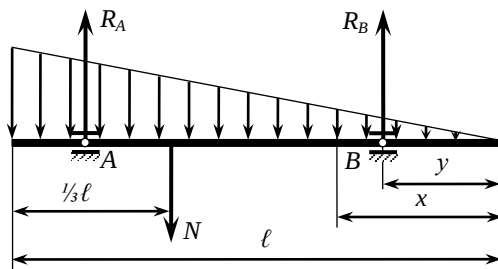


Рис. 9. Розрахункова схема для оптимізаційної задачі

На рис. 9 представимо розрахункову схему, в якій опори А і В нефіксовані. Виходячи з наведеної схеми, визначимо реакції опор R_A і R_B :

$$\sum M_B = \frac{q_{\max}(1+y/\ell)}{2}(\ell-y)(\ell-y-h_a) + \frac{q_{\max}y^3}{6\ell} + R_A(\ell-z-y) = 0, \quad (19)$$

$$\text{де } h_a = \frac{1}{3}(\ell-y) \left(\frac{q_{\max} + 2q_y}{q_{\max} + q_y} \right); \quad q_y = \frac{q_{\max}y}{\ell}.$$

Реакція опори на напрямній в точці А:

$$R_A = \frac{q_{\max}(\ell^2 - y^2)(\ell - y - h_a) - q_{\max}y^3}{6\ell(\ell - z - y)}. \quad (20)$$

Сума моментів відносно точки А:

$$\sum M_B = R_B(\ell - z - y) \frac{q_z(1-z)^2}{6} + \frac{q_{\max} + q_z}{2}(z - h_b)z = 0, \quad (21)$$

$$\text{де } h_b = \frac{1}{3}z \left(\frac{q_{\max} + 2q_z}{q_{\max} + q_z} \right); \quad q_z = \frac{q_{\max}(\ell - z)}{\ell}.$$

Реакція R_B визначається з виразу:

$$R_B = \frac{q_z(\ell - z)^2 - 3z(q_{\max} + q_z)(z - h_b)}{6(\ell - z - y)}. \quad (22)$$

Рівняння для визначенню моментів згину M_{3z} мають такий вигляд:

$$\text{при } 0 \leq x \leq y \quad M_x = -\frac{q_{\max}x^3}{6\ell}; \quad (23)$$

$$\text{при } y \leq x \leq (\ell - z) \quad M_x = R_B(x - y) - \frac{q_{\max}x^3}{6\ell}; \quad (24)$$

$$\text{при } (\ell - z) \leq x \leq 1 \quad M_x = R_B(x - y) - \frac{q_{\max}x^3}{6\ell} - R_A(z - (\ell - x)). \quad (25)$$

Виконання розрахунків з перебігом параметрів дає змогу оптимізувати систему за показником моменту згину. При цьому практичний інтерес для нас матимуть найбільші за модулем можливі значення моментів згину, які сприймаються бічною напрямною і з них найменші можливі. Результати розрахунків представлені в таблиці.

Таблиця. Значення екстремальних моментів згину M_{3z} (Нм)

$x \backslash y$	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43
0,10	21,18	20,12	19,03	17,93	16,82	15,69	14,56	13,40	13,90	14,92
0,11	19,38	18,32	17,26	16,17	15,08	13,97	12,84	12,93	13,90	14,92
0,12	17,57	16,57	15,47	14,40	13,31	12,22	12,01	12,93	13,90	14,92
0,13	15,75	14,72	13,68	12,62	11,55	11,13	12,01	12,93	13,90	14,92
0,14	13,91	12,90	11,87	10,83	10,52	11,13	12,01	12,93	13,90	14,92
0,15	12,08	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03	12,03	12,93	13,90	14,92
0,16	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	12,93	13,90	14,92
0,17	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35
0,18	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15	17,15

При цьому представлені залежності екстремальних значень моментів згину залежно від параметрів z та y при інших рівних умовах. Це означає, що зі зміною

значення розподіленого навантаження змінюватимуться і координати положень точок опор, які відповідатимуть оптимальним навантаженням. У свою чергу, значення $q_{\max}$ залежать від величин реакцій опор і довжин бічних напрямних. Тож вирішальне значення тут матимуть можлива кількість пляшок у масиві затору і кут β сходження напрямних.

Якщо максимально можливим числом пляшок у масиві можна задаватися, враховуючи геометричні параметри накопичувача, то кут β має подвійне значення. З одного боку, його збільшення приводить до обмеження корисної площі накопичувача і до зменшення сумарної складової fmg , а з іншого — до збільшення результуючої реакції бічної напрямної N_1 . При цьому важливо підкреслити, що вказані силові фактори матимуть місце і за відсутності заторів, оскільки навіть в режимі розформування масиву за наявності його відносного по опорній площині ковзання, стримування руху можливе лише бічними напрямними.

Повернемося до аналізу одержаних розрахункових даних. У таблиці наведено вибірку з масиву даних розрахунків, яка відповідає меті поставленої задачі — пошуку тих положень опор А і В бічної напрямної, які відповідають умові мінімізації моментів згину. Навіть у наведеному масиві результатів розрахунку відхилення екстремумів більше ніж удвічі, тож можна стверджувати, що постановка задачі оптимізації системи була правомірною. При цьому варто підкреслити доцільність такого ж підходу у вирішенні задач розрахунку балок при умові, що є можливість вільного вибору положень точок опор.

Зміною координат точок опор досягається перерозподіл значень їх реакцій. Крім того, що дуже важливо, при незмінній системі зовнішніх сил досягається зміна знаків моментів згину. Нагадаємо, що вирішення задачі оптимізації досягалося при вибраному значенні кута β сходження напрямних. Його зменшення при інших рівних умовах, особливо при $\beta < 10^\circ$, приводить до різкого зростання результуючої сил тиску N_1 на бічну опору.

Результати розрахунків з визначення N_1 при вибраних геометричних параметрах накопичувача приведено на рис. 10.

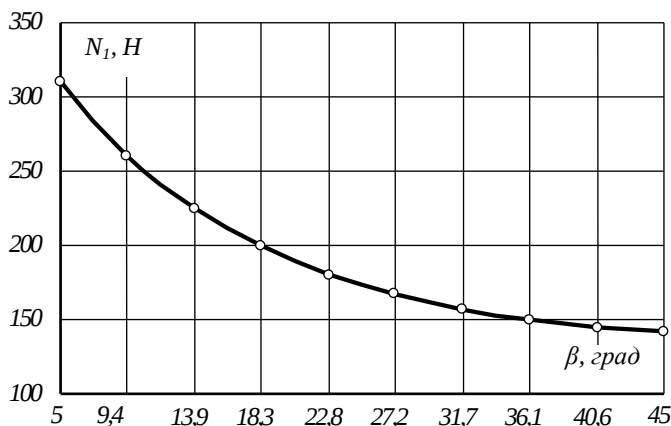


Рис. 10. Графік залежності результуючої реакції бічної опори від кута β при інших рівних умовах і змінному значенні вмісту накопичувача

Як бачимо, саме кут β тут має вирішальне значення і в діючих промислових конструкціях він є наближеним до величини $10...15^\circ$.

Вказані значення знайдені числовими експериментальними дослідженнями і відповідають умові якнайменшої частоти утворення заторів, при якій все-таки можливою є робота накопичувачів.

Висновки. Знайдені рішення щодо конструкції беззаторного розформування масивів склотарної продукції мають потенціал подвійного покращення ситуації. По-перше, гарантується 100% відсутності виникнення заторів, а по-друге, маємо можливість кут β сходження напрямних збільшувати в межах до $45...50^\circ$. Це означає, що за інших рівних умов результуюча реакція з боку бічної напрямної буде зменшуватися й одержується відчутний за можливостями параметр впливу. Корисна місткість системи при цьому також різко зростає і виникає можливість одержати накопичувачі з іншим співвідношенням геометричних параметрів.

При цьому нормальним режимом роботи може вважатися і такий, коли, незважаючи на відсутність заторів, накопичувач буде заповнений. Оскільки швидкість V_k конвеєра опорної площини буде завжди більшою за швидкість руху виробів, то матимуть місце сили тертя в парі опорна площина — вироби. Останні будуть сприйматися бічними напрямними.

За відомої кількості виробів на опорній площині легко вирахувати результуючу сил тертя, яка повинна бути зрівноважена реакціями N_1 і N_2 або повними реакціями R_1 і R_2 . У випадку рухомого масиву розрахунки виконуються з використанням формул, одержаних для випадку наявності затору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильківський К. В. Моделювання і оптимізація робочих процесів і вдосконалення обладнання транспортно-технологічних систем в харчовій промисловості: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.09 / К. В. Васильківський. — Київ: УДУХТ, 1997. — 204 с.
2. Шевченко О. Ю. Дослідження і оптимізація робочих процесів обладнання для роботи з масивами склотари в лініях розливу: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.18 / О. Ю. Шевченко. — Київ: УДУХТ, 1995. — 213 с.
3. Тертя у взаємодії твердих тіл / А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, В. А. Піддубний та ін. — Київ: Фенікс, 2012. — 256 с.
4. Моделювання процесів пакування / А. І. Соколенко, В. Л. Яровий, О. Ю. Шевченко та ін. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.
5. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. — Київ: Видавництво «Сталь», 2015. — 547 с.

ТРЕНИЕ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

К. В. Васильковский, И. Ф. Максименко, В. С. Костюк

Национальный университет пищевых технологий

Статья касается силовых взаимодействий в системах транспортировки стеклотарных изделий между их неподвижными и движущимися массивами, подвижными опорными плоскостями и ограничительными направляющими, которые формируют соответствующую геометрию. Выбор параметров таких систем связан с необходимостью обеспечения заданной пропускной способности, ограничением частоты образования пробок, силовых действий и энергетических затрат. Показано, что последние связаны с необходимостью преодоления сил трения, которые проявляются в двух плоскостях по подвижной плоскости на уровнях с опорным каркасом и плоскостью трения с массивом изделий и с

боковыми ограничительными направляющими. Приведены математические формализации по силовым взаимодействиям, распределению нагрузок и возможностям их ограничений, а также выборка из массива данных расчетов, соответствующих поиску положений опор боковых направляющих, по условию минимизации моментов сгиба.

Ключевые слова: трение, стеклотара, пробки, накопитель, силовое воздействие, опорная плоскость, боковая направляющая.

УДК 331.452

ANALYSIS OF CAUSE, CONSEQUENCES AND CIRCUMSTANCES OF MANUFACTURING INJURY IN FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

O. Evtushenko, A. Siryk*National University of Food Technologies*

Key words:

food industry,
injury,
cause,
event

Article history:

Received 08.10.2019
Received in revised form
26.10.2019
Accepted 24.11.2019

Corresponding author:

sao30.dn@gmail.com

ABSTRACT

The article analyzes statistics of the causes, consequences and circumstances of industrial injuries in food industry in the period from 2008 to 2018. Analysis of the dynamics of industrial injuries during indicated period shows that 4.447 thousand workers were injured in the food industry and 426 of them were killed. Main accounting indicators of traumatism were analyzed: the coefficient of injury rate indicates a tendency of a monotonous decrease in the total number of accidents at the food industry, and the severity of the injury rate increased almost 1.5 times, compared to 2008, indicating that, despite being reduction of the total number of accidents at the food industry, the severity of the injuries is increasing.

It is established that organizational factors lead to 80% of industrial injuries, most common organizational reasons were: violation of traffic safety rules; non-compliance with the requirements of safety instructions; breach of safety requirements during operation of equipment, machinery, mechanisms, failure to perform official duties, lack of proper control by officials. For the types of events that lead to accidents at food companies, road accidents are crucial both on public roads and on the territory of the enterprise; the action of objects and parts that move, fly, rotate; the fall of the victim, including from a height; and falls, collapses, collapses of objects, materials, rocks, soil, etc. Among the technical reasons, the following are dominant: design defects, imperfections, insufficient reliability of the means of production, vehicles; poor technical condition of production facilities, buildings, structures, engineering communications, territory; imperfection of technological process, its non-compliance with safety requirements.

Given results of the study, distribution of accidents by profession, age, general work experience, experience in the specialty of victims are presented. Prophylactic measures for prevention of industrial injuries at food industry enterprises are proposed.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-18

© О. В. Євтушенко, А. О. Сірик, 2019 р.

АНАЛІЗ ПРИЧИН, НАСЛІДКІВ ТА ОБСТАВИН ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О. В. Євтушенко, канд. техн. наук

А. О. Сірик, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано статистичні дані щодо причин, наслідків та обставин виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості за період з 2008 р. по 2018 р., встановлено, що організаційні фактори призводять до 80% виробничих травм. Наведено результати дослідження розподілу нещасних випадків за професією, віком, загальним стажем роботи, стажем за спеціальністю потерпілих. Запропоновано профілактичні заходи щодо запобігання виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості.

Ключові слова: харчова промисловість, травматизм, причина, подія.

Постановка проблеми. Створення належних умов праці на кожному робочому місці підприємств харчової промисловості, безпека та охорона праці є актуальними проблемами харчової галузі, оскільки має місце високий рівень інвалідності та смертності серед осіб працездатного віку, підвищений рівень виробничого травматизму, в тому числі й з летальними наслідками.

Статистичне дослідження причин, наслідків та обставин виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості є теоретичною основою для формування комплексу ефективних заходів щодо запобігання нещасним випадкам на підприємствах харчової промисловості та зниження його рівня.

Матеріали і методи. Одним із методів дослідження причин, наслідків та обставин виробничого травматизму є статистичний. Статистичний метод надає можливість визначити кількісну сторону виробничого травматизму, а також вивчити його основні причини та закономірності їх прояву за значною кількістю факторів. Дані для аналізу взято з актів за формою Н-1 та формою щорічного державного статистичного спостереження № 7-тнв «Звіт про травматизм на виробництві» за період з 2008 по 2018 роки.

Мета дослідження: аналіз причин, наслідків та обставин виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості за період з 2008 по 2018 роки.

Результати досліджень. Статистика нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості України свідчить про те, що, незважаючи на загальну тенденцію зниження кількості нещасних випадків на виробництві по Україні, в харчовій промисловості рівень виробничого травматизму залишається високим, а темпи його зниження — низькими. Аналіз динаміки виробничого травматизму за період з 2008 р. по 2018 р. показав, що протягом вказаного часу у харчовій промисловості було травмовано 4,447 тис. працівників (рис. 1), з них загинуло 426 працівників (рис. 2) [1; 2].

Проаналізовано основні облікові показники травматизму: коефіцієнт частоти травматизму свідчить про тенденцію монотонного зменшення загальної кількості нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості. У 2018 р. показник Кч був майже у 2 рази менший, ніж у 2008 р. і становив, відповідно, 1,9 проти 3,7. У той же час коефіцієнт тяжкості травматизму у 2018 р. збільшився

майже у 1,5 раза, якщо порівняти з 2008 р., і становив 50,8 проти 36,8. Це свідчить про те що, незважаючи на зниження загальної кількості нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості, тяжкість травм зростає, тому потрібно вжити кардинальних і комплексних заходів щодо зниження цих показників.

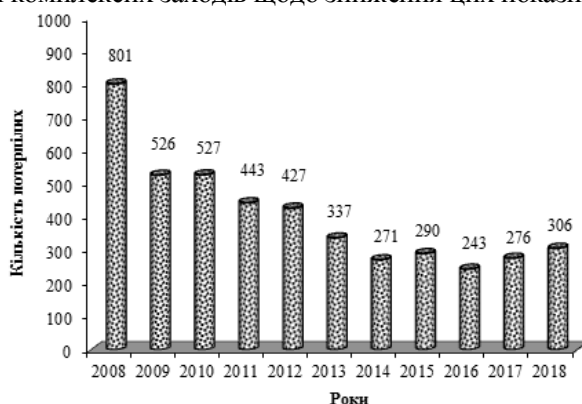


Рис. 1. Динаміка виробничого травматизму у харчовій промисловості України, 2008—2018 рр.

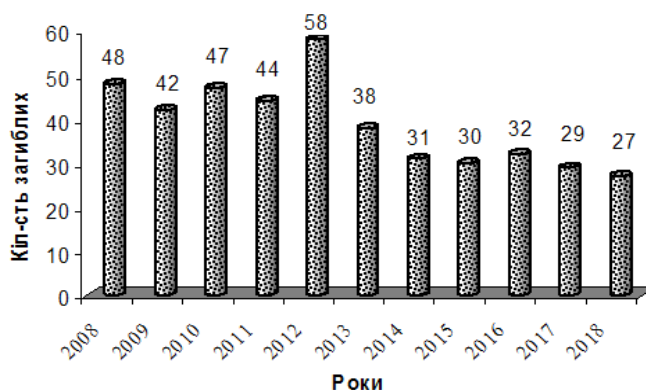


Рис. 2. Динаміка виробничого травматизму зі смертельним наслідком у харчовій промисловості України, 2008—2018 рр.

За результатами аналізу дослідження виробничого травматизму за 2008—2018 рр. з'ясовано, що близько 75% нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості пов'язані з експлуатацією обладнання, устаткування, машин, механізмів, транспортних засобів: 33% працівників травмовано під час експлуатації автотранспорту; 23% становлять нещасні випадки, пов'язані з експлуатацією технологічного обладнання (устаткування); 14% працівників травмовано через порушення експлуатації транспортних засобів під час технологічного процесу на підприємстві (автонавантажувачі, автомобілі-тягачі тощо); 5% виробничого персоналу травмовано під час експлуатації підйомно-транспортного обладнання (крани, конвеєри тощо).

Найпоширенішими організаційними причинами стали: порушення правил безпеки руху (29,8%), невиконання вимог інструкцій з охорони праці (22%) від загальної кількості травмованих працівників харчової промисловості; поруше-

ння вимог безпеки під час експлуатації обладнання, устаткування, машин, механізмів (15,2%), невиконання посадових обов'язків, відсутність належного контролю з боку посадових осіб (8%).

Аналіз статистичних даних показує, що для видів подій, які призводять до нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості, визначальними є дорожньо-транспортні пригоди як на дорогах загального користування, так і на території підприємства (34,6%); дія предметів і деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються (17,5%); падіння потерпілого (11,4%), у тому числі з висоти (5%); та падіння, обрушення, обвали предметів, матеріалів, породи, ґрунту тощо (9%).

Серед технічних причин домінують: конструктивні недоліки, недосконалість, недостатня надійність засобів виробництва, транспортних засобів (5,4%); незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, території (8,6%); недосконалість технологічного процесу, його невідповідність вимогам безпеки (4%).

Найпоширенішими психофізіологічними причинами стали: травмування внаслідок алкогольного сп'яніння (2,8%) та протиправних дій інших осіб (1,2%), особиста необережність потерпілого (1%) від загальної кількості травмованих осіб підприємств харчової промисловості.

Було проаналізовано вплив різних чинників (загальний стаж роботи, стаж за спеціальністю, професія, вік потерпілих) на величину коефіцієнта частоти травматизму.

За результатами дослідження найбільш травмонебезпечних професій на підприємствах харчової промисловості, найчастіше травмуються водії (24,6%), причому як зі своєї вини, так і з вини сторонньої особи. Наступна професійна група — працівники які експлуатують та обслуговують обладнання й устаткування з виробництва харчової продукції (23,4%). Понад половина нещасних випадків з електриками, слюсарями, зварниками та низькокваліфікованими працівниками стається через недотримання вимог інструкцій з охорони праці саме з вини потерпілого.

Особливе занепокоєння викликає той факт, що більш ніж 62% усіх нещасних випадків припадає на працівників віком від 30 до 50 років. Більшість працівників з цього вікового діапазону встигли поміняти кілька професій на різних підприємствах, їм властива надмірна самовпевненість і переоцінка власних можливостей, які знижують увагу та призводять до нехтування правилами безпеки під час технологічного процесу, що в підсумку створює нештатні ситуації.

Велика частка травм припадає на досвідчених робітників, які мають стаж роботи більше 20 років, та на робітників зі стажем за професією 1—5 років. Для обох категорій властивий надзвичайно негативний фактор звикання до небезпеки із гіперболізацією власного досвіду щодо вирішення стандартних ситуацій. На ці факти слід звертати особливу увагу під час проведення первинного та повторного інструктажів на робочому місці. Крім того, необхідно підвищити якість самих інструктажів, посилити контроль за роботою працівників з невеликим фаховим стажем.

Окремо проаналізовано нещасні випадки зі смертельним наслідком. Як правило, кожна така травма зумовлена кількома причинами. Серед основних можна виділити порушення трудової і виробничої дисципліни, порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, устаткування, машин, механізмів, порушення правил дорожнього руху, невиконання вимог інструкцій з охорони праці, недоліки

під час навчання безпечним прийомом праці, незастосування засобів індивідуального захисту, за їх наявності, порушення технологічного процесу.

Понад 30% загиблих працівників у харчовій промисловості не проходять навчання за професією чи видом роботи, під час виконання якої стався нещасний випадок. Крім того, з 12% потерпілими не було проведено вступний або первинний (повторний) інструктажі. Дані аналізу свідчать, що з усіх смертельно травмованих працівників галузі, які пройшли навчання за професією чи видом роботи, під час виконання якої стався нещасний випадок, понад 40% отримали травму протягом півроку після проходження цього навчання. З усіх потерпілих, які пройшли інструктаж на робочому місці, понад 80% загинули протягом трьох місяців після його проходження. Ці факти свідчать про недоліки в професійній підготовці працівників галузі і неякісне, формальне проведення інструктажів на підприємствах харчової промисловості.

За результатами дослідження встановлено, що потерпілий порушував законодавство про охорону праці у 48% нещасних випадках зі смертельним наслідком, тоді як інша особа у майже 52%. Більш ніж у половині нещасних випадків порушниками законодавства про охорону праці були різного рівня керівники. Тому є необхідність підвищувати відповідальність керівників усіх рівнів на підприємствах галузі з метою запобігання порушення ними законодавства про охорону праці, що приводять до нещасних випадків.

Якщо узагальнити вищенаведене, то можна стверджувати, що організаційні та кваліфікаційні фактори на підприємствах харчової промисловості призводять до 80% виробничих травм. В основному ці порушення відбуваються через погане знання робітниками правил безпеки. Проблема ця зумовлена слабкістю технічної бази для навчання, наявністю формалізму в навчанні та інструктуванні працівників на робочих місцях, поверхневим контролем знань робітників вимог з охорони праці.

Саме тому для запобігання виробничому травматизму, підвищення рівня безпеки виробництва на підприємствах харчової промисловості роботодавцям передусім потрібно: посилити контроль за дотриманням правил дорожнього руху працівниками, робота яких пов'язана з перевезенням харчової продукції; підвищити якість проведення інструктажів та розробки інструкцій з охорони праці; підвищити ефективність навчання та перевірку знань з охорони праці працівників, у тому числі працівників, які зайняті на роботах з підвищеною небезпекою; забезпечити моніторинг стану виробничого обладнання, систем контролю, керування виробничими процесами, сигналізації та зв'язку; здійснювати контроль за дотриманням як працівниками, так і керівниками структурних підрозділів вимог законодавчих та нормативно-правових актів з охорони праці. Отже, для постійного контролю та моніторингу стану охорони праці необхідно впроваджувати сучасні інформаційно-аналітичні системи управління охороною праці, які повинні бути організовані з урахуванням чіткої взаємодії начальника служби (відділу) охорони праці з керівниками усіх структурних підрозділів харчового підприємства, для адекватного та постійного управління з урахуванням усіх факторів, що впливають на стан охорони праці, і надавати керівникам структурних підрозділів оптимальну сукупність заходів щодо забезпечення безпеки праці [3; 4].

Висновки. Проведений аналіз стану виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості показав, що, незважаючи на загальну тенденцію зниження кількості нещасних випадків, рівень виробничого травматизму залишається високим. Так, за період з 2008 р. по 2018 р. травми отримали 4 447 працівників, із них загинуло 426 працівників. За результатами дослідження встановлено,

що організаційні фактори призводять до 80% виробничих травм. До найбільш травмонебезпечних професійних груп належать водії (24,6%) та працівники, які експлуатують та обслуговують обладнання, устаткування з виробництва харчової продукції (23,4%). Більш ніж 62% усіх нещасних випадків припадає на працівників віком від 30 до 50 років. Велика частка травм припадає на досвідчених робітників, які мають стаж роботи більше 20 років, та на робітників зі стажем за професією 1—5 років. Більш ніж у половині нещасних випадків порушниками законодавства про охорону праці були різного рівня керівники. На ці факти слід звертати особливу увагу під час проведення первинного та повторного інструктажів на робочому місці. Крім того, необхідно підвищити якість самих інструктажів, посилити контроль за роботою працівників з невеликим фаховим стажем. Необхідно підвищити відповідальність керівників усіх рівнів на підприємствах галузі з метою запобігання порушення ними законодавства про охорону праці, що приводять до нещасних випадків.

Результати досліджень можуть слугувати теоретичною базою для побудови математичної моделі оптимального планування заходів з охорони праці на харчових підприємствах з метою істотного зменшення рівня виробничого травматизму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калачова І. Статистичний бюлетень. Травматизм на виробництві у 2008—2013 роках / Калачова І. — К.: Держкомстат України., 2014.
2. Карамзіна О. О. Статистичний бюлетень. Травматизм на виробництві у 2014—2018 роках / Карамзіна О.О. — К.: Держкомстат України., 2019.
3. Євтушенко О. В. Інтелектуалізація інформаційно-аналітичної системи управління охороною праці на харчовому підприємстві / О.В. Євтушенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2018. — Том. 24, № 3. — С. 100—112.
4. Євтушенко О. В. Комплекс засобів автоматизації управління охороною праці для підприємств харчової промисловості / О. В. Євтушенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2015. — Том. 21, № 2. — С.122—131.
5. Романенко Н. В. Харчова індустрія: стережись автомобіля / Н. В. Романенко // Охорона праці — 2019. — Вип. 9 (303). — С. 32—37.
6. Лактіонов С. О., Серіков Я. О. Виробничий травматизм і професійна захворюваність як проблема сучасності: аспекти, причини, шляхи запобігання. Міжнародна конференція: Безпека людини у сучасних умовах. — НТУ «ХПІ», 2015. — С. 219—224.

АНАЛИЗ ПРИЧИН, ПОСЛЕДСТВИЙ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О. В. Евтушенко, А. О. Сирик

Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализированы статистические данные о причинах, последствиях и обстоятельствах производственного травматизма на предприятиях пищевой промышленности за период с 2008 по 2018 годы, установлено, что организационные факторы приводят к 80% производственных травм. Приведены результаты исследования распределения несчастных случаев по профессии, возрасту, общим стажем работы, стажем по специальности пострадавших. Предложены профилактические мероприятия по предотвращению производственного травматизма на предприятиях пищевой промышленности.

Ключевые слова: пищевая промышленность, травматизм, причина, событие.

УДК 621.3.036.27-0,32.2

THERMAL DISTRIBUTION IN FORCED MOVEMENT OF WATER IN PIPES, CHANNELS AND ALONG THE FLAT WALL

D. Sinat-Radchenko, N. Ivashchenko, S. Vasilenko*National University of Food Technologies***Key words:**

water,
forced movement,
pipes and channels,
flat walls,
flow modes,
heat transfer coefficients

Article history:

Received 09.10.2019
Received in revised form
05.11.2019
Accepted 21.11.2019

Corresponding author:

vinci@ukr.net

ABSTRACT

The movement of water in pipes and canal can be laminar, turbulent and transient condition. The nature of the flow is determined by the Reynolds number. Different criteria equations are used in each of these modes to calculate the heat transfer coefficient α ($W/(m^2 \cdot K)$).

Heat transfer criteria equation have the form $Nu = CRe^n Pr^m \epsilon_q$

The Nusselt criterion required (it includes α) is $Nu = \alpha d / \lambda$, where λ is the thermal conductivity of the liquid, ($W/(m \cdot K)$). The Prandtl number $Pr = \nu/a$ characterizes the thermo-physical properties of the liquid, and a is the thermal diffusivity of the liquid, m^2/s ; the correction ϵ_q takes into account the heat flux and the temperature head value.

For the viscous-gravitational regime the Grashof number $Gr = gd^3 \beta (t_c - t) / \nu^2$ is added.

The equations for calculating the heat transfer coefficients include the thermo-physical properties of water. For the temperature range $0 \dots 130^\circ C$, which is most used in the food industry, we obtained simple, accurate calculation formulas (the limit relative error within one percent) for λ , ν , Pr , etc.; correction formula for the length of short pipes; intermittency coefficient of transient condition.

We have proposed ready-made formulas for calculating heat transfer coefficients during forced water movement in pipes, channels and along a flat wall. Numerical examples of calculating heat transfer coefficients for various modes of water movement in a pipe and water movement along a flat wall are given.

The calculation results α according to the formulas we have proposed and based on the criteria equations practically coincide. Our method does not require the use of any tables and interpolations. This facilitates and accelerates the determination of the heat transfer coefficient. This makes the determination of the heat transfer coefficient simpler and faster.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-19

© Д. Є. Сінат-Радченко, Н. В. Іващенко, С. М. Василенко, 2019

ТЕПЛОВІДДАЧА ЗА ВИМУШЕНОГО РУХУ ВОДИ В ТРУБАХ, КАНАЛАХ І ВЗДОВЖ ПЛОСКОЇ СТІНКИ

Д. Є. Сінат-Радченко, канд. техн. наук

Н. В. Іващенко, канд. техн. наук

С. М. Василенко, д-р. техн. наук

Національний університет харчових технологій

На основі узагальнення даних з теплофізичних властивостей води та аналізу її тепловіддачі за вимушеного руху в трубах, каналах і вздовж плоскої стінки для інтервалу температур 0 ... 130°C та різних умов і режимів руху води запропоновано ряд простих, але досить точних формул (і числових прикладів їх використання) для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі без використання будь-яких таблиць та інтерполяції. Це полегшує та прискорює інженерні розрахунки і дає змогу використовувати формули у різноманітних комп'ютерних програмах.

Ключові слова: вода, вимушений рух, труби і канали, плоскі стінки, режими течії, коефіцієнти тепловіддачі.

Постановка проблеми. Тепловіддача за вимушеного руху води в трубах, каналах і вздовж плоскої стінки залежить від геометрії поверхні теплообміну, режиму течії води, температур води і стінки, теплофізичних властивостей води, напрямку теплового потоку тощо. Врахувати вплив усіх факторів — складна завдання. Водночас бажано спростити розрахунки процесів теплообміну.

Метою досліджень є аналіз сучасного стану розрахунків тепловіддачі за вимушеного руху води в трубах, каналах і вздовж плоскої стінки та пошук можливостей спрощення цих розрахунків.

Методи дослідження ґрунтуються на основі узагальнення теплофізичних властивостей води простими, але достатньо точними розрахунковими формулами, одержанні розрахункових формул для поправкових коефіцієнтів, виключенні потреби в користуванні будь-якими таблицями, можливості використання простих комп'ютерних програм для варіантних розрахунків.

Результати досліджень. Рух води в трубах і каналах може бути ламінарним і турбулентним (вихровим). Характер течії визначається числом Рейнольдса $Re = \omega d / \nu$, де ω — середня по перерізу труби швидкість води, м/с; d — внутрішній (еквівалентний) діаметр (визначальний лінійний розмір), м; ν — кінематична в'язкість води, м²/с.

За $Re \leq 2300$ режим течії ламінарний, за $Re \geq 10^4$ — турбулентний, а при $2300 < Re < 10^4$ — перехідний. У кожному з цих режимів для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі α (Вт/(м²·К)) використовують свої критеріальні рівняння та добуток поправок на конкретні умови теплообміну. Обов'язково вказується визначальна температура, за якої враховуються теплофізичні параметри води. Ми розглянемо розрахунок α для найчастіше використовуваного у харчовій і мікробіологічній промисловості інтервалу температур води від 0 до 130°C.

Ламінарна течія може відбуватися за відсутності природної конвекції (тепло передається лише теплопровідністю). Такий режим течії називають в'язкісним. Він імовірний за малих d , великої ν і малої різниці між температурами стінки і рідини $\Delta t = t_c - t = T_c - T$ (T, K — абсолютна температура).

У цьому випадку для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі в прямих гладких трубах використовують критеріальне рівняння:

$$Nu = C Re^n Pr^m \varepsilon_q = 0,15 Re^{0,33} Pr^{0,43} \varepsilon_q. \quad (1)$$

У шуканий критерій подібності Нуссельта $Nu = \alpha d / \lambda$ входять α , d та теплопровідність води λ , Вт/(м·К). Число Прандтля $Pr = \nu / a$ характеризує теплофізичні властивості води (a — коефіцієнт температуропровідності, м²/с). Поправка $\varepsilon_q = (Pr/Pr_c)^{0,25}$ враховує напрям теплового потоку (нагрівання, охолодження) та величину температурного напору ($t_c - t$).

Залежно від умов руху води у рівнянні (1) коефіцієнт C і показник степеня при Re «п» змінюються, а показник степеня при Pr «м» для розглядуваних процесів дорівнює 0,43 і $Pr^{0,43} (Pr/Pr_c)^{0,25} = Pr^{0,68} \cdot Pr_c^{-0,25}$ [1, 2].

Коефіцієнт тепловіддачі у в'язкісному режимі:

$$\alpha_b = 0,15 \lambda \omega^{0,33} d^{-0,67} \nu^{-0,33} Pr^{0,68} Pr_c^{-0,25}. \quad (2)$$

З появою природної конвекції в'язкісний режим течії переходить у в'язкісно-гравітаційний, а критеріальне рівняння доповнюється числом Грасгофа $Gr = g d^3 \beta (t_c - t) / \nu^2$, яке характеризує інтенсивність вільної конвекції:

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} Gr^{0,1} Pr^{0,68} \cdot Pr_c^{-0,25}. \quad (3)$$

У критерії Грасгофа $g = 9,807$ м/с² — прискорення вільного падіння; $\beta = (\rho / \rho_c - 1) / (t_c - t)$ — температурний коефіцієнт об'ємного розширення води, К⁻¹; ρ та ρ_c — густина води за середніх температур води і стінки, кг/м³.

В інтервалі температур $-15 \dots 130^\circ\text{C}$ з граничною відносною похибкою $\delta\rho = 0,05\%$:

$$\rho = (0,001 + 1,3 \cdot 10^{-8} |t - 4|^{1,778})^{-1}. \quad (4)$$

Перехід від в'язкісного до в'язкісно-гравітаційного режиму відбувається за умови, коли $Gr \cdot Pr > 8 \cdot 10^5$. Завдяки природній конвекції α може збільшуватися у декілька разів.

Урівняння розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі входять теплофізичні параметри води [3—5]. Для розглядуваного інтервалу температур пропонуються прості, але досить точні розрахункові формули (граничні відносні похибки в межах одного відсотка)

Теплопровідність води, Вт/(м·К):

$$\lambda = (0,603 - 28,73 / (t + 100))^{0,5}. \quad (5)$$

Кінематична в'язкість, м²/с:

$$\nu \cdot 10^9 = \exp(0,2905 - 42,47 / T)^{-1}. \quad (6)$$

Число Прандтля:

$$Pr = 10^{-2} \exp(0,3434 - 55,92 / T)^{-1}. \quad (7)$$

Число Рейнольдса:

$$Re = 10^9 \omega d / \exp(0,2905 - 42,47 / T)^{-1}. \quad (8)$$

Число Грасгофа:

$$Gr = g d^3 \beta (t_c - t) Fu, \quad (9)$$

при цьому $Fu = \beta / \nu^2 = \exp(27,2 - 549 / t_p - 87476 / t_p^2 + 5,16 \cdot 10^6 / t_p^3) - 1 \cdot 10^8$, (10)
де $t_p = (t + 100)$ — розрахункова температура.

Наприклад, якщо $t = 60^\circ\text{C}$, то $t_p = 160^\circ\text{C}$, $Fu = 2,33 \cdot 10^9$ с²/(м⁴·К), а $Fu^{0,1} = 8,644$. При 4°C $Fu = 0$ (бо $\beta = 0$, а при $t < 4^\circ\text{C}$ β від'ємний). За $t = 60^\circ\text{C}$ $\rho = 983,6$ кг/м³; $\lambda = 0,650$ Вт/(м·К); $\nu = 477 \cdot 10^{-9}$ м²/с; $Pr = 2,98$. При 110°C $Pr = 1,583$.

Коефіцієнт тепловіддачі у в'язкісно-гравітаційному режимі на основі формули (3):

$$\alpha_{\text{вг}} = 0,188 \lambda \omega^{0,33} d^{-0,37} \nu^{-0,33} \text{Fu}^{0,1} \text{Pr}^{0,68} \text{Pr}_c^{-0,25} (t_c - t)^{0,1}. \quad (11)$$

Критеріальне рівняння тепловіддачі для турбулентної течії рідини в трубах при $\text{Re} = 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$:

$$\text{Nu} = 0,021 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43} \text{Pe}_i, \quad (12)$$

де Pe_i — добуток поправок на конкретні умови процесу теплообміну. Наприклад, $\text{Pe}_i = \varepsilon_q \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R$. Поправку ε_l на довжину l коротких труб використовують, коли $l/d < 50$ [6]. Якщо $l/d \geq 50$ $\varepsilon_l = 1$, інакше $\varepsilon_l = a - b \cdot \lg(l/d)$, де $a = (1,426 - 3,234/\lg \text{Re})^{-1}$ та $b = 0,5886(a - 1)$. Наприклад, якщо $\text{Re} = 10^4$ і $l/d = 2$ одержимо $\varepsilon_l = 1,51$ (табличне значення 1,50).

Для вигнутих труб поправка на радіус вигину R (береться по осі труби) $\varepsilon_R = 1 + 1,8d/R$. Наприклад, якщо $d = 0,01$ м, а $R = 0,1$ м, то $\varepsilon_R = 1,18$.

Коефіцієнт тепловіддачі за турбулентного руху в трубі:

$$\alpha_t = 0,021 \lambda \omega^{0,8} d^{-0,2} \nu^{-0,8} \text{Pr}^{0,68} \text{Pr}_c^{-0,25} \varepsilon_l \varepsilon_R. \quad (13)$$

У перехідному (між ламінарним і турбулентним) режимі течії коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_n = \alpha_t \cdot \varepsilon_n$, де ε_n — поправковий коефіцієнт до α_t , розрахованого за формулою (13) для турбулентного режиму [7; 8].

Поправковий коефіцієнт $\varepsilon_n = a - b/\text{Re}$, де $b = 1800 - 220 \lg \text{Gr}$ та $a = 1 + b \cdot 10^{-4}$. Наприклад, при $\text{Gr} = 10^6$ і $\text{Re} = 3000$ отримаємо $b = 480$, $a = 1,048$ та $\varepsilon_n = 0,888$.

Коефіцієнт чергованості (частка часу, коли має місце турбулентна течія) $\varpi = 1,3 - 3000/\text{Re}$. Наприклад, при $\text{Re} = 3000$ отримаємо $\varpi = 0,3$.

Для в'язкісно-гравітаційної ламінарної течії гідравлічний опір пропорційний ϖ і важливим фактором є орієнтація труби в просторі. При турбулентній течії гідравлічний опір пропорційний ϖ^2 , а орієнтація труби в просторі на α_t не впливає. За перехідного режиму ламінарна і турбулентна течії по чергову змінюють одна одну.

При розрахунках тепловіддачі в трубах не круглого поперечного перерізу за визначальний лінійний розмір береться еквівалентний діаметр $d_e = 4f/P$, де f — поперечний переріз каналу, м^2 ; P — периметр поперечного перерізу, м. Коли рідина тече в кільцевому каналі, d_e дорівнює різниці між зовнішнім та внутрішнім діаметрами кільцевого перерізу і вводиться поправка — відношення цих діаметрів в степені 0,18. У випадку прямокутного перерізу каналу із сторонами a і b , $d_e = 2ab/(a+b)$.

За ламінарної течії шорсткість поверхні труби не впливає на α і гідравлічний опір. За турбулентної течії α в шорстких трубах може як зростати, так і зменшуватись порівняно з гладкими.

Розглянемо розрахунок тепловіддачі води в прямій круглій трубі з $d = 0,01$ м, довжиною $l = 1$ м при $\omega = 0,1$ м/с, $t = 60^\circ\text{C}$ і $t_c = 110^\circ\text{C}$.

Число Рейнольдса $\text{Re} = 0,1 \cdot 0,01 / 477 \cdot 10^{-9} = 2096 < 2300$ і течія ламінарна. Число Грасгофа за формулою (9) $\text{Gr} = 9,807 \cdot 0,01^3 (110 - 60) \cdot 2,33 \cdot 10^9 = 11,43 \cdot 10^5$. Добуток $\text{Gr} \cdot \text{Pr} = 11,43 \cdot 10^5 \cdot 2,98 = 34 \cdot 10^5 > 8 \cdot 10^5$. Режим течії — в'язкісно-гравітаційний. За формулою (11):

$$\alpha_{\text{вг}} = 0,188 \cdot 0,650 \cdot 0,1^{0,33} \cdot 0,01^{-0,37} (477 \cdot 10^{-9})^{-0,33} (23,3 \cdot 10^8)^{0,1} \cdot 2,98^{0,68} \cdot 1,583^{-0,25} (100 - 60)^{0,1} = 917 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

При зростанні швидкості води вдсятеро (до 1 м/с) вдсятеро збільшиться і число Рейнольдса. За $Re=20960>10^4$ течія стане турбулентною. З рівняння (13)

$$\alpha_t=0,021\cdot0,650\cdot1^{0,8}\cdot0,01^{-0,2}(477\cdot10^{-9})^{-0,8}\cdot2,98^{0,68}\cdot1,583^{-0,25}=7385 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}.$$

Відношення $l/d=1/0,01=100>50$, тому поправка $\varepsilon_l=1$. Поправка $\varepsilon_R=1$, тому що труба пряма.

За ламінарної течії води вздовж плоскої стінки ($Re<4\cdot10^4$) середній по поверхні стінки коефіцієнт тепловіддачі відповідає рівнянню:

$$Nu=0,66Re^{0,5}Pr^{0,43}\varepsilon_q, \quad (14)$$

звідси коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{cl}=0,66\lambda\omega^{0,5}l^{-0,5}v^{-0,5}Pr^{0,68}Pr_c^{-0,25}. \quad (15)$$

При турбулентній течії вздовж плоскої стінки

$$Nu=0,037Re^{0,8}Pr^{0,43}\varepsilon_q, \quad (16)$$

звідси коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{ct}=0,037\lambda\omega^{0,8}l^{-0,2}v^{-0,8}Pr^{0,68}Pr_c^{-0,25}. \quad (17)$$

У рівняннях тепловіддачі за руху води вздовж плоскої стінки визначальною є температура t набігаючого потоку, а визначальним лінійним розміром — довжина l стінки в напрямі потоку.

При довжині пластини $l=1$ м, $t=60^\circ\text{C}$, $t_c=110^\circ\text{C}$ і швидкості руху води $\omega=0,01$ м/с число Рейнольдса $Re=0,01\cdot1/477\cdot10^{-9}=2,096\cdot10^4<4\cdot10^4$ і течія ламінарна. За формулою (15):

$$\alpha_{cl}=0,66\cdot0,650\cdot0,01^{0,5}\cdot1^{-0,5}(477\cdot10^{-9})^{-0,5}\cdot2,98^{0,68}\cdot1,583^{-0,25}=116,4 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}.$$

Якщо швидкості води збільшиться до 1 м/с, то $Re=2,096\cdot10^6$, течія буде турбулентною і за формулою (17):

$$\alpha_{cl}=0,037\cdot0,650\cdot1^{0,8}\cdot1^{-0,2}(477\cdot10^{-9})^{-0,8}\cdot2,98^{0,68}\cdot1,583^{-0,25}=5138 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}.$$

Результати розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі за запропонованими формулами практично збігаються з результатами прикладів розрахунку на основі критеріальних рівнянь.

Висновки. Розглянуто основні можливі варіанти тепловіддачі за вимушеного руху води в трубах, каналах і вздовж плоскої стінки. В промислових установках найчастіше має місце турбулентний режим течії. Запропоновані в статті формули є простими, досить точними, не потребують використання таблиць теплофізичних параметрів води і таблиць поправок. Це полегшує та прискорює визначення коефіцієнтів тепловіддачі (в статті наведені числові приклади) та надає можливість використовувати формули у різноманітних комп'ютерних програмах типових процесів тепловіддачі.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов С. М. Теоретичні основи теплотехніки: підручник/ С. М. Константинов, Є. М. Панов. — К.: «Золоті ворота», 2012. — 592 с.
2. Беляев Н. М. Основы теплопередачи: учебник / Н. М. Беляев. — К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. — 343 с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник: в 4 кн. Кн.2. Теплоэнергетика и теплотехника / под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 560 с..
4. Физические величины: справочник/ Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.

5. Александров А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара.: справочник. Рек ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, В. А. Григорьев. — М.: Изд-во МЭИ, 1999. — 168 с.

6. Сінат-Радченко Д. Є. Вплив довжини труби на тепловіддачу за різних режимів вимушеного руху рідини в трубах / Д. Є. Сінат-Радченко, С. М. Василенко, Н. В. Іващенко // Цукор України. — 2015. — № 10. — С. 21—22.

7. Василенко С. М. Основи тепломасообміну: підручник / С. М. Василенко, А. І. Українець, В. В. Олішевський. — К.: НУХТ, 2004. — 250 с.

8. Сінат-Радченко Д. Є. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини у горизонтальних трубах / Д. Є. Сінат-Радченко, С. М. Василенко, О. М. Недбайло // Промышленная теплотехника. — 2014. — Т.36, № 6. — С. 46—48.

ТЕПЛООТДАЧА ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ДВИЖЕНИИ ВОДЫ В ТРУБАХ, КАНАЛАХ И ВДОЛЬ ПЛОСКОЙ СТЕНКИ

Д. Е. Сінат-Радченко, Н. В. Іващенко, С. М. Василенко

Национальный университет пищевых технологий

На основе обобщения данных по теплофизическим свойствам воды и анализа ее теплоотдачи при вынужденном движении в трубах, каналах и вдоль плоской стенки для интервала температур 0 ... 130 °С, разных условий и режимов движения предложено ряд простых, но достаточно точных, формул (а также числовые примеры их использования) относительно расчета коэффициентов теплоотдачи без использование каких-либо таблиц и интерполяции. Это облегчает и ускоряет инженерные расчеты и дает возможность использовать формулы в разнообразных компьютерных программах.

Ключевые слова: вода, вынужденное движение, трубы и каналы, плоские стенки, режимы течения, коэффициенты теплоотдачи.

УДК 536.7

ENERGY TRANSFORMATIONS IN MECHANICAL SYSTEMS

A. Sokolenko, O. Stepanets, O. Boyko*National University of Food Technologies*

Key words:

mechanical systems,
energy transformations,
energy recovery,
friction,
dissipation

Article history:

Received 07.09.2019
Received in revised form
06.10.2019
Accepted 19.11.2019

Corresponding author:

mif63@i.ua

ABSTRACT

The article presents theoretical generalizations concerning energy transformations in mechanical systems. Studies are related to transient processes of overclocking and escape of systems under the influence of external factors in the form of forces and reactions of bonds. The relative displacements in the kinematic pairs of machines and mechanisms in the products by the values of the friction coefficients determine the level of dissipation, so the possibilities of recovery are limited to the values of the kinetic energy of the moving masses of the systems. The materials on the threefold task concerning dynamic loads, speed and energy costs of technological processes are presented. From this point of view, the set of 8 laws of motion is considered and none of them corresponds to the extreme conditions of the lowest dynamic loads and energy costs.

The possibility of kinetic energy recovery in escape modes with the minimization of the driving forces at the levels of friction overcoming is shown.

From the point of view of the interests of energy recovery, systems of cyclic action in which opportunities to use the kinetic energy of the escape modes in parallel synchronized asymmetric acceleration processes deserve special attention. Another area of energy recovery concerns the limitation of the quantities of friction planes and force interactions in mobile joints under conditions of rigid kinematic bonds.

The transfer of kinetic energy in friction transmissions in transient conditions is possible in the directions from more fast-moving to less-fast-moving elements and in the free-run modes after equalization of speeds in the contact zone, it is possible to change the roles of the master and slave masses. The presence of such energy redistributions leads to the conclusion that it is possible to solve the problems of kinetic energy recovery in machine systems.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-20

© А. І. Соколенко, О. І. Степанець, О. О. Бойко, 2019

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ В МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

А. І. Соколенко, д-р техн. наук

О. І. Степанець, канд. техн. наук

О. О. Бойко, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено теоретичні узагальнення, які стосуються енергетичних трансформацій у механічних системах. Дослідження пов'язані з перехідними процесами розгону та вибігу систем під дією зовнішніх факторів у формі сил і реакцій зв'язків. Відносні переміщення в кінематичних парах машин і механізмів в добутках на значення коефіцієнтів тертя визначають рівень дисипації, тому можливості рекуперації максимально обмежуються значеннями кінетичної енергії рухомих мас систем. Представлено матеріали про триєдину задачу, яка стосується динамічних навантажень, швидкодії і енергетичних затрат на виконання технологічних процесів. З цієї точки зору розглянуто сукупність восьми законів руху і показано, що жоден з них не відповідає екстремальним умовам найменших динамічних навантажень та енергетичних витрат. Показано можливість рекуперації кінетичної енергії в режимах вибігу з мінімізацією роботи рушійних сил на рівнях роботи на подолання тертя.

Ключові слова: механічні системи, енергетичні трансформації, рекуперація енергії, тертя, дисипація.

Постановка проблеми. Виконання будь-якого процесу потребує відповідного рушійного фактора. Так, у механічній системі, пов'язаній з переміщенням вантажів, забезпечується дія сил рушійних і сил опору, різниця між якими зрівноважується силою інерції. При цьому за інших рівних умов важливим фактором впливу виступає маса вантажу з приєднаними масами рухомих складових приводів. Саме співвідношення між приведеними масами і різницею рушійних факторів і факторів опору визначає кінематику й динаміку перебігу таких процесів [1—3]. З точки зору можливостей впливу на результат виконання процесу варіації стосуються вказаних сил і мас [4]. Математичне відображення в загальній постановці в таких пошуках відповідає другому і третьому законам Ньютона і одночасно принципу Д'Аламбера [7] і ця відповідність з певним наближенням може бути записана у формі:

$$m\ddot{x} = P_{руш}(t, x, \dot{x}) - P_{оп}(t, x, \dot{x}), \quad (1)$$

де приведена маса m і силові фактори $P_{руш}$ і $P_{оп}$, представлені функціями часу, координати переміщення x , швидкості $\dot{x}$ зміни координати тощо.

Присутність прискорення $\ddot{x}$ в умові (1) вказує на можливість оцінки процесу переміщення з розгорткою у часі за її інтегрування.

У найпростішому варіанті маси і силові параметри виступають як сталі величини, але й за таких умов існує доцільність пошуку їх співвідношень, які мають привести до певного кінцевого результату. Останній може стосуватися таких факторів, як обмежене динамічне навантаження (сила інерції $m\ddot{x}$), час перебігу процесу й енергетичні витрати на його здійснення [5; 6]. Очевидно, що вибір критерію оптимізації стосується одного з параметрів при певних обмеженнях інших або кількох з них.

Мета дослідження визначена у формі узагальнення, яке стосується доповнення задачі динаміки машин оцінками можливостей енергетичної рекуперації в періоди перебігу перехідних процесів у технологічному обладнанні харчових виробництв.

Матеріали і методи. Дослідження теоретичне, виконано на основі законів фізики, принципів і методів механіки зі створенням та аналізом аналітичних моделей.

Результати дослідження. Звертання до задачі мінімізації енергетичних витрат на реалізацію процесу означає необхідність оцінки їх складових, пов'язаних, наприклад, з переміщеннями вантажу на величину кінцевої координати $x_{(κ)}$. При цьому енергетичні витрати, які стосуються необхідності подолання сил опору P_{on} , є незворотними, а робота рушійної сили проти сил інерції визначається рівнем кінетичної енергії рухомих мас у кожний плинний момент часу t :

$$E_{kin} = m \frac{(\dot{x})^2}{2}. \quad (2)$$

На момент завершення етапу розгону маємо максимальне значення кінетичної енергії за кінцевої швидкості $\dot{x}_{(κ)}$:

$$E_{kin(max)} = m \frac{(\dot{x}_{(κ)})^2}{2}, \quad (3)$$

а цьому перехідному процесу відповідає енергетичне співвідношення:

$$m \frac{(\dot{x})^2}{2} = P_{pyu}x - P_{on}x, \quad (4)$$

звідки робота рушійної сили:

$$A_{pyu} = P_{pyu}x = 0,5m(\dot{x})^2 + P_{on}x. \quad (5)$$

Припинення дії рушійної сили означає завершення етапу розгону і початок етапу вибігу, в якому кінетична енергія $E_{kin(max)}$ виступає в ролі енергетичного підґрунтя рушійного фактора у формі:

$$m\ddot{x}^II = -P_{on}; \quad (6)$$

$$\dot{x}^II = \dot{x}_{(κ)}^I - \frac{P_{on}}{m}t^II; \quad t_{(κ)}^II = \frac{\dot{x}_{(κ)}^I m}{P_{on}}, \quad (7)$$

де $\dot{x}_{(κ)}^I$ — кінцева швидкість першого етапу; $\dot{x}^II$ — плинна швидкість на другому етапі; $t_{(κ)}^II$ — час перебігу другого етапу.

Оскільки першому етапу відповідають залежності:

$$\dot{x}^I = \frac{P_{pyu} - P_{on}}{m}t \quad \text{і} \quad \dot{x}^I = -\frac{P_{pyu} - P_{on}}{m} \cdot \frac{t^2}{2}, \quad (8)$$

то звідси маємо:

$$t_{(κ)}^I = \sqrt{\frac{2x_{(κ)}^I m}{P_{pyu} - P_{on}}}; \quad x_{(κ)}^I = \frac{P_{pyu} - P_{on}}{m} \cdot \frac{t_{(κ)}^2}{2}. \quad (9)$$

Відповідно до принципу суперпозиції загальні за два етапи значення складуть:

$$x_{заг} = x_{(\kappa)}^I + x_{(\kappa)}^{II}; \quad t_{заг} = t_{(\kappa)}^I + t_{(\kappa)}^{II}, \quad (10)$$

а кількість рекуперованої енергії має значення, що відповідає умові (3).

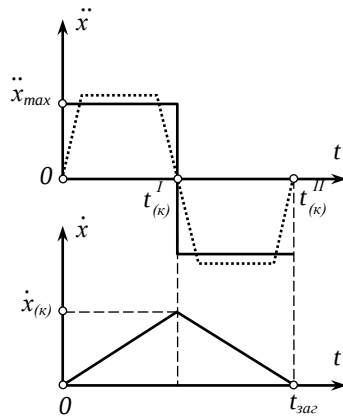


Рис. 1. Кінематичні діаграми переміщень

Оцінка перебігу переміщень приведеної маси на двох етапах приводить до висновку, що в загальному випадку незалежно від прийнятих законів руху досягаються можливості оцінки динамічних складових навантажень і енергетичних витрат. Останні пов'язані, зокрема, з необхідністю подолання сил інерції на етапі розгону на рівні досягнутої кінетичної енергії рухомих мас системи, яка змінюється від нуля до максимуму на етапі розгону і від максимуму до нуля — на етапі вибігу. Різним законам руху приведених мас відповідають режими з різними значеннями максимумів швидкостей, а тому у зв'язку з перспективами рекуперації саме кінетичної енергії слід оцінювати режими вибігу, визначаючи відповідну координату переходу до нього. Очевидно, що режим вільного вибігу означає повне використання кінетичної енергії, за якого величина переміщення залежить від сили опору, що відповідає залежності:

$$x_{(\kappa)}^{II} = \dot{x}_{(\kappa)}^I t_{(\kappa)}^{II} - fg \frac{(t_{(\kappa)}^{II})^2}{2}. \quad (11)$$

При $t_{(\kappa)}^{II} = \dot{x}_{(\kappa)}^I / fg$ отримаємо:

$$x_{(\kappa)}^{II} = \frac{(\dot{x}_{(\kappa)}^I)^2}{fg} - fg \left(\frac{\dot{x}_{(\kappa)}^I}{fg} \right)^2. \quad (12)$$

З наведеного видно, що за сталих значень параметрів m , $P_{руш}$ і $P_{он}$ на першому етапі досягається рівноприскорений рух, а на другому — рівносповільнений. Якщо модулі прискорень на обох етапах збігаються, то це відповідає режиму швидкодії за мінімізованих динамічних навантажень порівняно з іншими можливими законами руху. Однак такий подвоєний позитивний результат супро-

воджується недоліком, пов'язаним з присутністю м'яких динамічних ударів (рис. 1) у формі стрибкоподібних прискорень на початку імпульсного переміщення, на переході від першого етапу до другого і після завершення режиму вибігу. Очевидно, що збільшення різниці $P_{руш} - P_{он}$ супроводжується зростанням динамічних навантажень. Реалізація таких законів можлива за рахунок відповідної кінематики механізмів приводів (наприклад, за використання кулачкових механізмів) або за рахунок використання відповідних заходів мехатронного забезпечення заданого параметра:

$$P_{руш} = m\ddot{x} - P_{он}. \quad (13)$$

В останньому випадку реалізуються можливості ліквідації явищ м'яких динамічних ударів за рахунок лінійних законів $\ddot{x} = \ddot{x}(t)$ у перехідних процесах.

Виконаний аналіз щодо закономірностей (рис. 1) в інтересах імпульсних переміщень робочих органів приводить до висновку щодо доцільності досягнення умов рекуперації кінетичної енергії. Очевидно, що повній рекуперації відповідають співвідношення:

$$t_{(к)}^{II} < t_{(к)}^I; \quad t_{(к)}^{II} = t_{(к)}^I \quad i \quad t_{(к)}^{II} > t_{(к)}^I,$$

однак лише за випадку $t_{(к)}^{II} = t_{(к)}^I$ досягається режим швидкодії. За розрахункових співвідношень $t_{(к)}^{II} > t_{(к)}^I$ кінематична реалізація закону швидкодії рекуперацію режиму вибігу обмежує або відміняє за рахунок додаткової сили опору $P'_{он}$ з боку робочого органа. При цьому рівняння руху має вигляд:

$$\ddot{x}^{II} = -\frac{P'_{он}}{m} - fg, \quad (14)$$

з якого одержуємо:

$$\dot{x}^{II} = \dot{x}_{(к)}^I - \frac{P'_{он}}{m}t - fgt$$

і звідси при $\dot{x}_{(к)}^{II} = 0$ отримаємо:

$$\frac{P'_{он}}{m}t_{(к)}^{II} = \dot{x}_{(к)}^I - fgt_{(к)} \quad i \quad P'_{он} = \frac{\dot{x}_{(к)}^I m}{t_{(к)}^{II}} - fmg. \quad (15)$$

Величина переміщення на другому етапі відображується залежністю:

$$\dot{x}^{II} = \dot{x}_{(к)}^I t - \left(\frac{P'_{он}}{m} + fg \right) \frac{t^2}{2},$$

а повному переміщенню відповідає умова:

$$x_{(к)}^{II} = \dot{x}_{(к)}^I t_{(к)}^{II} - \left(\frac{P'_{он}}{m} + fg \right) \frac{(t_{(к)}^{II})^2}{2}. \quad (16)$$

Енергетичні витрати, пов'язані з подоланням сил тертя на другому етапі, становлять:

$$E_{\text{тер}} = fmg \left(\dot{x}_{(\kappa)}^I t_{(\kappa)}^{II} - \left(\frac{P'_{\text{он}}}{m_{\text{нр}}} + fg \right) \frac{(t_{(\kappa)}^{II})^2}{2} \right). \quad (17)$$

Тоді з урахуванням енергетичного балансу в системі робота сил кінематичного забезпечення:

$$E_{\text{кін}} = m \frac{(\dot{x}_{(\kappa)})^2}{2} - fmg \left(\dot{x}_{(\kappa)}^I t_{(\kappa)}^{II} - \left(\frac{P'_{\text{он}}}{m} + fg \right) \frac{(t_{(\kappa)}^{II})^2}{2} \right). \quad (18)$$

Перехід до режиму вільного вибігу означає, що рушійний фактор припиняє дію на момент часу $t_{(\kappa)}^I$. За випадку кінематичного забезпечення другого етапу енергетичним співвідношенням відповідають умови (17) і (18). Це означає, що роль рушійних факторів виконують сили інерції, а забезпечення заданої кінематики супроводжується протидією додаткової сили опору, яка генерується в приводі у формі різних реакцій. Присутність останніх у діях на певних переміщеннях визначає ту частину енергетичних витрат, що відповідають $E_{\text{кін}}$. Сама кінематика, наприклад, мальтійського механізму, забезпечує обов'язкову і позиціоновану зупинку веденої маси з трансформацією кінетичної енергії в роботу проти сил тертя з відповідною енергетичною втратою.

У виконаному аналізі здійснено звертання до рівноприскорених і рівносповільнених переміщень рухомих мас системи у зв'язку з сукупністю відгуків у формі динаміки навантажень, часу перебігу і можливостей енергетичної рекуперації. Однак у більшості випадків завдання теорії механізмів і машин та динаміки машин зосереджені на визначенні динамічних навантажень [7] і тільки перехід до розділу регулювання ходу машин стосується енергетичних співвідношень за взаємодій мас ведучих, проміжних і ведених. В останньому випадку здійснюється перехід від одномасових систем до дво- і кількамасових. Наявність перехідних процесів у системах рухомих мас означає перерозподіл динамічних параметрів і енергетичних трансформацій. При цьому динамічні параметри є наслідками змін прискорень, які, у свою чергу, визначаються змінами швидкостей. У зв'язку з цим динаміка навантажень доповнюється аналізом енергетичних трансформацій з пошуком можливостей рекуперації кінетичної енергії.

На основі продовження подальших міркувань підкреслимо, що саме кінетична енергія приведеної маси системи $mV_{\text{max}}^2/2$ визначає складову енергетичних витрат на розгін системи. Це означає можливість порівняльної оцінки системи з різними законами руху на основі амплітуд швидкостей і прискорень або їх аналогів. Умовою виконання теоретичних досліджень є прийняття однакових параметрів циклічних переміщень x у проміжках однакових значень часу t , або узагальненої координати φ [6; 8]. При цьому вважаємо, що в порівнюваних випадках значення x збігаються зі значеннями фазових кутів φ за відповідних узагальнених швидкостей ω . За реперний закон прийнято параболічний, поглиблений аналіз якого склав вступну частину цього дослідження, а результати порівняння наведені в таблиці з відображенням

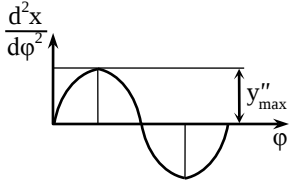
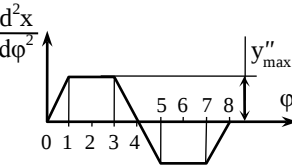
співвідношень аналогів швидкостей і прискорень для різних законів $d^2x/d\varphi^2 = f''(\varphi)$.

Таблиця. Амплітуди аналогів швидкостей і прискорень для різних законів

$$d^2x/d\varphi^2 = f''(\varphi)$$

Закон руху	Графік $\frac{d^2x}{d\varphi^2} = f''(x)$	Максимальне значення		Співвідношення аналогів швидкостей	Співвідношення аналогів прискорень
		$\frac{dx}{d\varphi}$, м	$\frac{d^2x}{d\varphi^2}$, м		
1	2	3	4	5	6
1. Лінійний		$\frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$\pm \infty$	0,5	∞
2а. Параболічний		$2 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$4 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$	1,0	1,0
2б. Несиметричний		$2 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$+2(1+k) \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$ $-\frac{2(1+k)}{k} \cdot \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$	1,0	$+0,5(1+k)$ $-0,5(1+k)$
3. Модифікований лінійний		$1,2 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$7,2 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$	0,6	1,8
4. Трикутний		$2 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$8 \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$	1,0	2,0
5. Косинусоїдальний		$\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1}$	$\frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{x_{(\kappa)}}{\varphi_1^2}$	1,57	1,23

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6
6. Синусої- дальний		$2 \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1}$	$2\pi \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1^2}$	1,0	1,57
7. Рівно- мірно зменшуване приско- рення		$\frac{3}{2} \cdot \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1}$	$6 \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1^2}$	0,75	1,5
8. Змінюва- ння приско- рення по трапеції		$2 \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1}$	$\frac{16}{3} \cdot \frac{x_{(κ)}}{\varphi_1^2}$	1,0	1,33

Одержані результати у формі відношень амплітуд аналогів швидкостей і прискорень різних законів до відповідних параметрів параболічного закону в ряди за ранжиром:

- для аналогів швидкостей

0,5	0,6	0,75	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,57
(1)	(3)	(7)	(2a)	(2б)	(4)	(6)	(8)	(5)

- для аналогів прискорень

1,0	0,5(1+k)	1,23	1,33	1,5	1,57	1,6	2,0	∞
(2a)	(2б)	(5)	(8)	(7)	(6)	(3)	(4)	(1)

Наведені рядки порівняльних даних супроводжуються адресними відмітками, що відповідають номерам законів, наведеним у таблиці. Очевидно, що жоден із них не відповідає екстремальним умовам найменших динамічних навантажень і енергетичних витрат. Це означає, що остаточний вибір на користь того чи іншого закону має здійснюватися на основі прийнятих умов за обома показниками.

Особливістю першого ряду є наявність однакових максимальних швидкостей у п'яти законах. Серед них трапецеїдальний закон є однією з найкращих комбінацій швидкостей і прискорень.

Одержані математичні формалізації стосуються достатньо спрощених вхідних умов, а тому для підтвердження узагальнень на їх основі звернемося до випадку переміщень ведених мас похилими площинами (рис. 2).

Нехай маса m розміщена на похилій площині, що утворює з лінією горизонту кут α і здійснює циклічне переміщення під дією рушійної сили $P_{руш}$. У цьому випадку опір переміщенню стосується складової сил тяжіння $mg \sin \alpha$, а рівняння руху на першому етапі записується у формі:

$$m\ddot{x} = P_{руш} - F_m - mg \sin \alpha$$

або за підстановки $F_m = fmg \cos \alpha$ маємо:

$$\ddot{x} = \frac{P_{пуш}}{m} - fg \cos \alpha - g \sin \alpha. \quad (19)$$

Звідси на першому етапі робота рушійних сил складає:

$$A_{пуш} = \frac{mV_{(к)}^2}{2} + fmg \cos \alpha x_{(к)}^I + mg \sin \alpha x_{(к)}^I. \quad (20)$$

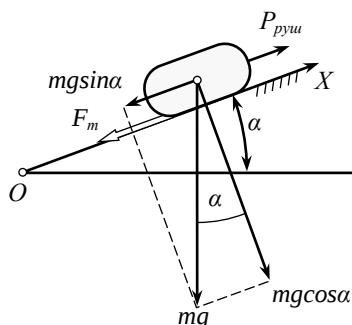


Рис. 2. Розрахункова схема для випадку переміщення вантажу похилою площиною

Оскільки добуток $x_{(к)}^I \cos \alpha$ дорівнює горизонтальній проекції координати $x_{(к)}^I$, то це означає, що робота рушійної сили на похилій площині проти сил тертя дорівнює енергетичним витратам на переміщення на відстані вказаної проекції. Одночасно складова $mg \sin \alpha x_{(к)}^I$ відповідає потенціальній енергії переміщення маси m у гравітаційному полі. Очевидно, що ця енергетична складова може бути повенена в систему, наприклад, за рахунок гравітаційного опускного пристрою. Останнє у своєрідній формі відображує закон збереження енергії з вказівною та те, що незворотні енергетичні втрати пов'язані тільки із силами зовнішнього і внутрішнього тертя у випадках пружних систем.

На другому етапі переміщення зі сталою швидкістю при $\dot{x}^{II} = 0$ енергетичні витрати складуть:

$$A_{пуш}^{II} = fmgx_{(к)}^{II} \cos \alpha + mgx_{(к)}^{II} \sin \alpha. \quad (21)$$

Третьому етапу відповідають умови:

$$\ddot{x}^{III} = -fg \cos \alpha - g \sin \alpha; \quad \dot{x}^{III} = -(fg \cos \alpha + g \sin \alpha)t + V_{(к)};$$

$$t_{(к)}^{III} = \frac{V_{(к)}}{fg \cos \alpha + g \sin \alpha}. \quad (22)$$

При цьому рекуперована частина енергії становить значення $mV_{(к)}^2/2$, а робота сил рушійних на загальному переміщенні визначається залежністю:

$$A_{заг} = (fmg \cos \alpha + mg \sin \alpha)(x_{(к)}^I + x_{(к)}^{II} + x_{(к)}^{III}). \quad (23)$$

Наведені приклади аналізу систем транспортування вантажів показують можливість рекуперації кінетичної енергії в режимах вибігу з мінімізацією енергетичних витрат на рівні роботи рушійних сил на подолання сил тертя. При цьому має місце енергетична трансформація роботи рушійних сил в кінетичну енергію рухо-

мих мас на етапах розгону і в теплову енергію, пов'язану з проявами сил тертя, а швидкодія виконання циклічних процесів залежить від різниці рушійних сил і сил опору, що визначає динамічні навантаження. Такий перелік особливостей формулює перелік вимог щодо синтезу систем:

- швидкодія перебігу процесу;
- обмежені динамічні навантаження;
- рекуперація кінетичної енергії.

Очевидно, що ця сукупність має внутрішню триєдність через співвідношення швидкостей, прискорень і мас. Значення швидкостей визначають швидкодію, зміна швидкостей — прискорення, а наслідком останніх є динамічні навантаження. Роль певного регулятора належить приведеній масі системи, що в теорії і практиці регулювання ходу машин зводиться до використання маховикових мас. Значною мірою це пов'язано з існуванням в технологічних машинах мас з різними кінематичними параметрами і різними рівнями кінетичних енергій, які впливають на режими вибігу і рекуперацію останніх.

На підтвердження цього положення звернемося до випадку двомасової системи з фрикційним зв'язком (рис. 3) з обертальними рухами ведучої маси з моментом інерції I_2 . Фрикційна муфта дає змогу здійснювати режими вибігу вказаних мас як в роз'єднаному, так і в об'єднаних станах. Нехай за роз'єднаної муфти маси знаходяться в режимі вибігу, долаючи відповідно моменти сил опору $M_{on.1}$ і $M_{on.2}$ з початковими швидкостями $\omega_{(n)1}$ і $\omega_{(n)2}$ за початкових значень кінетичної енергії $E_{(n)1}$ і $E_{(n)2}$. Таким вибігам відповідають рівняння:

$$I_1 \frac{d\omega_1}{dt} = -M_{on.1}; \quad I_2 \frac{d\omega_2}{dt} = -M_{on.2}. \quad (24)$$

За вказаних параметрів і початкових умов маємо:

$$\omega_1 = \omega_{(n)1} - \frac{M_{on.1}}{I_1} t; \quad \omega_2 = \omega_{(n)2} - \frac{M_{on.2}}{I_2} t. \quad (25)$$

Завершується режими вибігу значеннями $\omega_1 = 0$ і $\omega_2 = 0$, що відповідає часу завершення $t_{(к)1}$ і $t_{(к)2}$, і фізиці явища у формі: час вибігу мас прямо пропорційний початковим кутовим швидкостям і обернено пропорційний моментам сил опору:

$$t_{(к)1} = \omega_{(n)1} \frac{I_1}{M_{on.1}}; \quad t_{(к)2} = \omega_{(n)2} \frac{I_2}{M_{on.2}}. \quad (26)$$

Змінам кінетичної енергії відповідають умови:

$$E_1 = \frac{I_1}{2} \left(\omega_{(n)1} - \frac{M_{on.1}}{I_1} t \right)^2; \quad E_2 = \frac{I_2}{2} \left(\omega_{(n)2} - \frac{M_{on.2}}{I_2} t \right)^2. \quad (27)$$

Об'єднання мас 1 та 2 фрикційною муфтою приводить до іншого режиму, в якому одна з них відіграє роль ведучої, а друга — веденої. Роль ведучої буде належати тій, яка має більшу кутову швидкість, а не більший рівень кінетичної енергії. Припустимо, що має місце співвідношення $\omega_{(n)1} > \omega_{(n)2}$ на момент замикання муфти з моментом тертя в ній M_m . Першому етапу при цьому відповідають рівняння руху:

$$I_1 \frac{d\omega_1}{dt} = -M_m - M_{on.1}; \quad I_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_m - M_{on.2}. \quad (28)$$

Хоча рівняння (28) об'єднані в систему, однак спільним для них є тільки M_m і їх розв'язання здійснюється окремо:

$$\omega_1 = \omega_{(n)1} - \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1} t; \quad \omega_2 = \omega_{(n)2} + \frac{M_m - M_{on.2}}{I_2} t. \quad (29)$$

Завершується етап за вирівнювання швидкостей, коли $\omega_{(k)1}^I = \omega_{(k)2}^I$, а час вибігу складає:

$$t_{(k)}^I = \frac{\omega_{(n)1} - \omega_{(n)2}}{\frac{M_m - M_{on.2}}{I_2} + \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1}}. \quad (30)$$

Підстановка $t_{(k)}^I$ в одну з умов (29) дає змогу записати:

$$\omega_{(k)} = \omega_{(n)1} - \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1} \cdot \frac{\omega_{(n)1} - \omega_{(n)2}}{\frac{M_m - M_{on.2}}{I_2} + \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1}}. \quad (31)$$

За час перебігу першого етапу сумісного вибігу без урахування втрат на тертя від першої маси до другої передається енергія:

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= \frac{I_1}{2} (\omega_{(n)1}^2 - \omega_{(k)}^2) = \\ &= \frac{I_2}{2} \left[\omega_{(n)1}^2 - \left(\omega_{(n)1} - \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1} \cdot \frac{\omega_{(n)1} - \omega_{(n)2}}{\frac{M_m - M_{on.2}}{I_2} + \frac{M_m + M_{on.1}}{I_1}} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (32)$$

На наступному другому етапі режими вибігу мас будуть різношвидкісними і залежатимуть від моментів опору і моментів інерції I_1 та I_2 .

Висновки. Енергетичні трансформації в технологічних машинах відображаються співвідношеннями рушійних факторів і опорів та масових характеристик і стосуються перехідних процесів розгону і вибігу механічних систем. З точки зору інтересів енергетичної рекуперації на підвищену увагу заслуговують системи циклічної дії, в яких досягаються можливості використовувати кінетичну енергію режимів вибігу в паралельних синхронізованих асиметричних процесах розгону. Інший напрямок енергетичної рекуперації стосується обмеження кількостей площин тертя і силових взаємодій в рухомих з'єднаннях в умовах жорстких кінематичних зв'язків.

Передавання кінетичної енергії у фрикційних передачах в умовах перехідних процесів можливе у напрямках від більш швидкохідних до менш швидкохідних елементів і в режимах вільних вибігів після вирівнювання швидкостей у зоні контактування можливою є зміна ролей ведучої і веденої мас. Наявність таких енергетичних перерозподілів приводить до висновку про можливість вирішення задач рекуперації кінетичної енергії в машинних системах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якимчук М. В. Науково-технічні засади створення обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Якимчук Микола Володимирович; Нац. ун-т харч. технол. — Київ, 2016. — 38 с.

2. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. — Київ: Видавництво «Сталь», 2015. — 547 с.
3. Стоцько З. А. Моделювання технологічних систем: навч. посіб.; друге видання, перероб. і доп. / З. А. Стецько. — Львів: «Львівська політехніка», 2013. — 188 с.
4. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем. Моделювання, проектування, оптимізація: навч. посіб. для студ. техн. спец. вищ. навч. закл. / Б. О. Пальчевський. — Львів: «Світ», 2001. — 232 с.
5. Патент 58946 UA, МПК B65B 5/10 (2006.01). Пристрій для переміщення вантажів / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Максименко І. Ф., Шевченко А. О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u201012737; заявл. 27.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8, 2011 р.
6. Соколенко А. І. Про можливість рекуперації кінетичної енергії в машинах і механізмах / А. І. Соколенко, К. В. Васильківський, В. С. Костюк // Харчова промисловість. — 2016. — № 19. — С. 92—99.
7. Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов, Г. А. Тимофеев; под. Ред. Г. А. Тимофеева. Изд. 6-е испр. и доп. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 688 с.
8. Криворотько В. М. Динаміка і рекуперація вторинних енергетичних ресурсів у механічних системах / В. М. Криворотько, А. І. Соколенко, К. В. Васильківський // Наукові праці НУХТ. — 2014. — Т. 20, № 1. — С. 171—180.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А. И. Соколенко, О. И. Степанец, А. О. Бойко

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены теоретические обобщения, касающиеся энергетических трансформаций в механических системах. Исследования связаны с переходными процессами разгона и выбега систем под действием внешних факторов в форме сил и реакций связей. Относительные перемещения в кинематических парах машин и механизмов в производствах на значения коэффициентов трения определяют уровень диссипации, поэтому возможности рекуперации максимально ограничиваются значениями кинетической энергии движущихся масс систем. Представлены материалы о триединой задаче, которая касается динамических нагрузок, быстрого действия и энергетических затрат на выполнение технологических процессов. С этой точки зрения рассмотрена совокупность восьми законов движения и показано, что ни один из них не соответствует экстремальным условиям наименьших динамических нагрузок и энергетических затрат. Показана возможность рекуперации кинетической энергии в режимах выбега с минимизацией работы движущих сил на уровнях работы на преодоление трения.
Ключевые слова: механические системы, энергетические трансформации, рекуперация энергии, трения, диссипация.

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 № 241 від 09.03.2016) як наукове видання з технічних наук та включений до категорії «Б» (постанова №612 від 07.05.2019) за спеціальностями 133, 162, 181.

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 10 машинописних аркушів (до 10000 друкованих знаків).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті мають бути підготовлені з урахуванням Постанови Президії ВАК України № 7-05/6 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України». Друкуються наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До публікації приймаються не опубліковані раніше статті, що містять результати фундаментальних теоретичних розробок та найзначніших прикладних досліджень викладачів, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів. Усі статті підлягають обов'язковому рецензуванню провідними спеціалістами у відповідній галузі харчових технологій, яких призначає науковий редактор журналу.

Рукопис статті надсилається у двох примірниках, українською мовою, включаючи таблиці, рисунки, список літератури.

Статті подаються у вигляді **вичитаних** 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 посилення 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, відповіддю 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.

Використовувані в статті фізичні, хімічні, технічні та математичні терміни, одиниці фізичних величин та умовні позначення мають бути загальноприйнятими. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

До статей додаються: виписка з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку; відомості про авторів (прізвище, повне ім'я та по батькові, науковий ступінь, місце роботи, номери контактних телефонів, адреса), кафедральний висновок/експертний висновок (для статей сторонніх організацій), заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань

**Головний редактор журналу: доктор технічних наук, професор
Анатолій Іванович Соколенко.**

**Відповідальний секретар журналу: кандидат технічних наук, доцент
Сергій Володимирович Токарчук.**

**Контактні телефони: міський — (044) 287-92-45, внутрішній — 92-45
E-mail: tmipt_xp@ukr.net**

Наукове видання
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№ 26

Київ, НУХТ

Журнал «Харчова промисловість» затверджений наказом МОН України (постанова № 241 від 09.03.2016) як наукове видання з технічних наук і включений до категорії «Б» (постанова № 612 від 07.05.2019, № 975 від 11.07.2019) за спеціальностями 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181.
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.

Видання подається в авторській редакції.

Комп'ютерна верстка: Т. В. Соколова

Підп. до друку 24.12.2019 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

РВЦ НУХТ 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68
www.book.nuft.edu.ua

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.2004