



**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**22**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Харчова**  
**ПРОМИСЛОВІСТЬ**

*Заснований у 1965 р.*

**Київ НУХТ 2017**

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 September 3, 2016), 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.

**Editorial office address:**

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

Recommended for publication by the  
Academic Council of the National University of  
Food Technologies.  
Minutes of meeting № 5 of November, 2017

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 та економічних наук (Наказ МОН України № 241 від 09.03.2016), у 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.

**Адреса редакції:**

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

Рекомендовано вченою радою  
Національного університету харчових  
технологій.  
Протокол № 5 від 30 листопада 2017 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 Стефанов**  
**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 Арсенєва**  
**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

**Олена Сологуб**  
**Olena Solohub**

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

**Віктор Ємцев**  
**Viktor Yemtsev**

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

**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'kuu**

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

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

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

**Олена Грабовська**  
**Olena Hrabovs'ka**

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

**РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ****Сировина та матеріали**

Федорова Д.В. Обґрунтування вибору рослинної сировини для виробництва сухих риборослинних напівфабрикатів

Лаленко Т.В., Бахмач В.О., Зінченко Т.В., Корецька І.Л., Бандуренко Г.М. Використання нетрадиційної сировини у технології приготування молочного соусу

Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Дієтичні добавки: сучасні підходи до створення та місце у системі здорового харчування

Полумбрик М.О., Омельченко Х.В., Іщенко В.М., Костюк В.С., Полумбрик О.М. Ізомальтоолігосахариди в харчових технологіях

Божко Н.В., Тищенко В.В., Пасічний В.М. Екстракт чорної смородини в технології м'ясомістких варених ковбас з м'ясом птиці

**Технології: дослідження, застосування та впровадження**

Куянов Ю.Ю., Миколенко С.Ю. Технологічні аспекти отримання «зірваних» зерен НВЧ-випромінюванням

Іванова Т.М., Зусько К.В., Куц А.М., Грегірчак Н.М., Пешук Л.В. Дослідження процесу екстрагування кверцетинвмісної сировини для виробництва м'ясних продуктів

Грек О.В., Онопрійчук О.О., Пиєнична Т.В. Технологія білково-ягідних згустків з молочної сировини

Юрчак В.Г., Рак В.П., Копиця А.О., Паливода С.Д. Дослідження низькотемпературних режимів сповільненого вистюювання тістових заготовок

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

Змієвський Ю.Г. Моделювання процесу діананофільтрації молочної сироватки

Боліла Н.О., Сидоренко О.В. Оцінка ефективності поверхонь для транспортування акули катран

Дячок В.В., Запорожець Ю.В. Про механізм масообміну з тілами клітинної будови

Соколенко А.І., Піддубний В.А., Степанець О.І., Головкіна Л.І. Гідродинаміка і масообмін у процесах аеробного бродіння

Бабанов І.Г., Бабанова О.І., Михайлов В.М., Шевченко А.О. Дослідження процесів електроконтактного оброблення м'ясопродуктів

Івчук Н.П., Башта А.О., Ущаповський А.О. Вивчення процесу термічного оброблення бульб топінамбуру

**Обладнання та устаткування**

Володін С.О., Мирончук В.Г., Токарчук С.В. Обґрунтування вибору промислових регульованих клапанів із позиційним приводом

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

6 Fedorova D. Scientific selection of plant raw material for the production of dry fish and plant semi-products

16 Lalenko T., Bakhmach V., Zinchenko T., Coretsky I., Bandurenko M. Use of non-traditional raw materials for the production of milk souss

23 Simakhina G., Naumenko N. Dietary supplements: the up-to-date approaches to creation and their place in the healthy nutrition system

29 Polumbryk M., Omelchenko Ch., Ischenko V., Kostyuk V., Polumbryk O. Isomaltooligosaccharides in food technologies

35 Bozhko N., Tischenko V., Pasichnyi V. Black currant extract in the technology of meat-containing cooked sausages with poultry

**Technologies: Researches, Application and Introduction**

40 Kuyanov Yu., Mykolenko S. Technological aspects of grain popping by microwave treatment

49 Ivanova T., Zusko K., Kuts A., Gregirchak N., Peshuk L. Investigation the extraction process of the quercetin raw material for manufacture of meat products

55 Grek O., Onopriichuk O., Pshenychna T. Technology of protein-berry clots from dairy raw materials

64 Yurchak V., Rak V., Kopyuca A., Palyvoda S. Studies of low-temperature regimes of slow proofing dough pieces

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

71 Zmievskii Yu. Modelling of diananofiltration process of whey

79 Bolila N., Sydorenko O. Assessment of surface efficiency for transportation of the dogfish

85 Dyachok V., Zaporochets Y. About mechanism of mass-transfer with the bodies cellular structure

92 Cokolenko A., Piddybny V., Stepanets O., Golovkina L. Hydrodynamics and masstransfer in aerobic fermentation processes

102 Babanov I., Babanova E., Mikhaylov V., Shevchenko A. Research processes electro-contact processing meat

107 Ivchuk N., Bashta A., Ushchapovskiy A. Study of jerusalem artichoke tubers thermal processing

**Machinery and Equipment**

113 Volodin S., Myronchuk V., Tokarchyk S. Rationale for selection of premium regulated valves with positive driver

**Пакування: розробка, дослідження, переробка**

Пригодій Д.В., Соколенко А.І., Васильківський К.В., Дем'яненко А.В. Фактори тертя в обладнанні ліній пакування

Якимчук М.В., Горчакова О.М., Токарчук С.В., Валиулін Г.Р. Розробка математичної моделі для визначення продуктивності роботизованих пакетоформуючих ліній

Костін В.Б., Ковальова Н.І., Романченко Н.М. Шляхи зниження витрат повітря при транспортуванні пет-пляшок

**Керування виробничими процесами**

Паньков Д.В., Кишенько В.Д., Ладанюк А.П. Створення онтології хлібопекарського виробництва у програмі Protégé

Безуглов А.О., Ладанюк А.П., Смітюх Я.В. Інтелектуальна підсистема підтримки прийняття рішень для керування бурякопереробним відділенням цукрового заводу

Ляшенко М.О., Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Сич М.А. Застосування регуляторів дробового порядку при синтезі оптимального автоматичного керування

Євтушенко О.В., Сірик А.О., Породько П.В., Ковбич В.О. Дослідження виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв

**Енергетика та виробничі процеси**

Гапонюк І.І. Теплообмін двофазових середовищ за однакових градієнтів вологи й температури

**РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІКА**

Жужукіна Н.І. Структурні перетворення в умовах економічної кризи

**Packing: Development, Researches, Processing**

119 Prygodiy D., Sokolenko A., Vasilkovsky K., Demianenko A. Factors of friction in equipment of packaging line

128 Iakymchuk M., Gorchakova O., Tokarchuk S., Valiulin G. Development of the mathematical model for determination of productivity of packet line

135 Kostin V., Kovaleva N., Romanchenko N. Ways of cost of air cutting at transporting of pet-bottles

**Control of Production Processes**

141 Pankov D., Kishenko V., Ladanyuk A. Creating ontology bakery production Protégé program

149 Bezuhlov A., Ladanyuk A., Smityuh Y. Intelligent decision support subsystem for controlling beet processing department of sugar factory

157 Liashenko M., Lobok O., Goncharenko B., Sych M. Application procedure for regulators fractional for synthesis of optimal automatic control

164 Yevtushenko O., Siryk A., Porodko P., Kovbych V. Research of occupational injuries at food industry enterprises in the production of beverages

**Power engineering and productions**

169 Gaponyuk I. Heat transfer of dopasowa environments for the same gradients of moisture and temperature

**SECTION 3. ECONOMY**

178 Zhuzhukina N. Structural transformations in the economic crisis

УДК 664.641:975.8

## SCIENTIFIC SELECTION OF PLANT RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF DRY FISH AND PLANT SEMI-PRODUCTS

**D. Fedorova***Kyiv National University of Trade and Economics***Key words:**

small fish,  
essential nutrients,  
bran,  
flax seed,  
dry fish and plant semi-products.

**Article history:**

Received 03.07.2017

Received in revised form 26.10.2017

Accepted 08.11.2017

**Corresponding author:**

dina\_fedorova@  
ukr.net

**ABSTRACT**

An important role in addressing the problem shortage of high-grade protein and mineral elements in the mass segment and Social nutrition of Ukrainians belongs to fish industry. The aim of the scientific work is researching the possibility of plant raw material using for the production of dry fish and plant semi-products based on minced Azov-Black Sea goby using plant raw material compositions (flax seeds, wheat, oat and rye bran). The data of scientific researches on the contents of essential nutrients and polyphenols in products of processing of grain and oil-bearing crops, improving properties of these raw materials are systematized. The results of experimental studies of the biochemical composition of wheat, oat, rye and flax seed flakes are presented. It has been established that flaxseed and brans are multicomponent substrates with a high content of biologically valuable substances. This plant material is an important source of food fibers (soluble and insoluble), polyphenols, vitamins, minerals. The expediency of its use in the production of dry fish and plant semi-products for food products of health-improving activity is established.

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУХИХ РИБО-РОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

**Д.В. Федорова, канд. техн. наук***Київський національний торговельно-економічний університет*

У статті систематизовано дані наукових досліджень щодо вмісту есенціальних нутрієнтів і поліфенолів у продуктах переробки зернових та олійних культур, оздоровчих властивостей даної сировини. Наведено результати експериментальних досліджень хімічного складу висівок пшеничних, вівсяних, житніх і шроту насіння льону, їх фізико-хімічних властивостей. Обґрунтовано доцільність їх використання у виробництві сухих рибо-рослинних напівфабрикатів.

**Ключові слова:** дрібна риба, есенціальні нутрієнти, висівки, шрот насіння льону, сухі рибо-рослинні напівфабрикати.

**Постановка проблеми.** Необхідність забезпечення населення доступними та біологічно цінними харчовими продуктами сприяє пошуку та вивченню

джерел повноцінного білка, що є першочерговим завданням науковців і фахівців харчової промисловості. Одним із головних напрямів підвищення ефективності сучасних харчових виробництв і розширення асортименту доступної білоквмісної харчової продукції є створення маловідходних та енергоощадних процесів, залучення у виробництво вторинних білоквмісних сировинних ресурсів. Важливого значення для продовольчої безпеки країни набувають технології маловідходної переробки доступної для широких верств населення рибної сировини, передусім рибної сировини родини бичкових (*Gobiidae*), яка сьогодні є однією із найчисельніших і доступних за ціною об'єктів морського рибного промислу в Україні [1; 2]. Створення ресурсозберігаючих технологій риборослинних напівфабрикатів на основі комплексного перероблення дрібної риби є актуальним завданням для вітчизняної харчової промисловості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створенню технологій комбінованої рибо-рослинної продукції присвячені наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених: Л.С. Абрамової, В.Д. Богданова, Т.М. Бойцової, Т.К. Лебської, Т.М. Сафронової, О.В. Сидоренко та ін.

В останні роки відзначається підвищення зацікавленості науковців до створення нових технологій харчових продуктів з риби, збагачених харчовими волокнами. При цьому авторами особлива увага приділяється дослідженню наукових аспектів використання у складі рибних продуктів нерозчинних форм харчових волокон, зокрема рослинної клітковини [3; 4]. Використання рослинної клітковини у складі рибних продуктів надає їм оздоровчих властивостей, дає змогу знизити енергетичну цінність, вміст холестерину. Дослідженнями науковців Інституту кардіології ім. М.Д. Стражеска, Головного управління організації медичної допомоги населенню МОЗ України, Інституту геронтології, Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця доведено, що однією з причин поширення так званих «хвороб цивілізації» (атонії кишечника, гіпертонічної хвороби, атеросклерозу, ішемічної хвороби серця, цукрового діабету та інших) є нестача харчових волокон у щоденному харчовому раціоні. При цьому переважна частина харчової продукції виробляється з невисоким вмістом харчових волокон, що впливає на низький рівень їх добового споживання населенням України — менше половини добової норми [5]. Перспективним джерелом харчових волокон у раціоні є продукти переробки зернових та олійних культур — висівки й шроти.

Харчові волокна, які містяться в рослинній сировині, мають здатність зв'язувати в травному тракті іони важких металів, радіонукліди з подальшим утворенням нерозчинних комплексів, які не всмоктуються і виводяться з організму [6]. Ці речовини пригнічують життєдіяльність гнильних мікроорганізмів, знижують рівень гнильних процесів у кишечнику і, таким чином, забезпечують кращі умови для життєдіяльності корисної кишкової мікрофлори [6]. Зазначені дані визначають високу актуальність використання пшеничних висівків у виробництві рибо-рослинних напівфабрикатів. Отже, розробка нових технологій сухих рибо-рослинних напівфабрикатів для використання у виробництві продуктів оздоровчого харчування, зокрема кулінарної продукції, хлібобулочних виробів, снекової продукції, концентратів, сухих сніданків, сухих формованих продуктів спеціального призначення, є актуальною для харчової галузі і ресторанного господарства.

**Метою статті** є обґрунтування вибору рослинної сировини для виробництва сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі фаршів з бичка азотно-чор-

номорського патраного з використанням рослинної сировини — шротів з насіння льону, висівок, пшеничних, вівсяних і житніх.

**Матеріали і методи досліджень.** Об'єкти дослідження — рослинна сировини — продукти переробки зернових і олійних культур — висівки пшеничні, вівсяні, житні, шрот насіння льону (ШНЛ) напівзнежирений виробництва ТОВ «Агросільпром» (Дніпропетровська обл.), виготовлені відповідно до ТУ У 15.8-24239651-007:2007, висушені фарші на основі дрібної бланшованого риби — бичка азovo-чорноморського патраного (далі бичка азoвського) з використанням дослідної рослинної сировини

Масову частку вологи визначали методом висушування при температурі 100—105° С; сирого протеїну — визначенням загального азоту за методом К'ельдаля, ліпідів — екстракційним методом в апараті Сокслета; золи — ваговим методом після мінералізації наважки продукту в муфельній печі при температурі 500—600° С. Вміст мінеральних елементів визначено методом рентгенофлуоресцентного аналізу на аналізаторі ElvaX-Med; вміст Кальцію і Фосфору — колориметричним методом [7]. Легкогідролізовані полісахариди (ЛГП) визначали за редуруючою здатністю розчинів, отриманих шляхом гідролізу сировини 2-відсотковою соляною кислотою протягом 3 годин (гідромодуль 40, температура 100° С) з множенням результату на коефіцієнт 0,88 [8]. Важкогідролізовані полісахариди (ВГП) визначали за редууючою здатністю розчинів, отриманих шляхом гідролізу залишку після видалення ЛГП 80-відсотковою сірчаною кислотою з множенням результату на коефіцієнт 0,9 [8]. Лігніноподібні речовини визначали як залишок після видалення ЛГП та ВГП за відрахуванням золи, крохмалю — поляриметричним методом Еверса [9]. Сиру клітковину визначали методом Кюшнера-Ганека [9], харчових волокон — методом визначення розчинних у нерозчинних харчових волокон ферментативним способом [8]. Вміст β-глюкану визначали методом ІЧ-спектроскопії [10], вміст фенольних речовин — колориметричним методом [9]. Водопоглинальну здатність (ступінь набрякання), жирозв'язувальну та вологоутримувальну (частка зв'язаної води) здатність висівок і ШНЛ визначали протягом 10·60 с при температурі 20±2° С загальноприйнятими методами. Гранулометричний склад порошків визначали седиментаційним методом; активну кислотність у водному розчині 10% концентрації сировини — на рН-метрі Hanna. Об'ємну масу порошків визначали шляхом вільного засипання сухого продукту у вимірювальну тару та розраховували за формулою:

$$M_o = \frac{P_2 - P_1}{V},$$

де  $M_o$  — об'ємна маса сухого продукту, кг/м<sup>3</sup>;  $P_1$  — маса порожньої вимірювальної тари, кг;  $P_2$  — маса вимірювальної тари з сухим продуктом, кг;  $V$  — об'єм вимірювальної тари, м<sup>3</sup>.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для обґрунтування раціональної технології рибо-рослинних напівфабрикатів на основі фаршу з бичка азoвського визначено доцільність використати як фізіологічно-функціональні інгредієнти продукти переробки олійних і зернових культур, які є важливою частиною харчування і джерелом есенціальних нутрієнтів. В Україні серед перероблюваних зернових та олійних культур з високим вмістом есенціальних



нутрієнтів і поліфенолів найбільш поширені пшениця, жито та льон. В середньому в Україні переробляється 2,3...2,5 млн т на рік пшениці та 0,5...0,6 млн т на рік жита, що складає вироблення висівки: 0,5...0,6 млн т для пшеничних та 0,11...0,13 млн т для житніх, відповідно [11]. За даними наукових джерел продукти переробки олійних і зернових культур — висівки та шроти характеризуються високою біологічною цінністю. Вони є джерелом не тільки білків та амінокислот, але й таких фізіологічно-функціональних інгредієнтів, як ксилітолігосахариди, поліненасичені жирні кислоти, зокрема  $\alpha$ -ліноленова, токоферолі, фенольні кислоти та поліфеноли, які забезпечують антирадикальний та антиоксидантний ефект, виявляють вибіркоче стимулювання корисної кишкової мікрофлори, знижують розвиток ряду хронічних захворювань [12].

Альтернативним джерелом поліфенолів у раціоні харчування можуть бути цільнозернові злаки та насіння олійних культур, загальний вміст поліфенолів у яких знаходиться на рівні з традиційними сировинними джерелами фенольних антиоксидантів — ягодами. Хімічний склад поліфенолів злаків і насіння льону, представлений у табл. 1, свідчить про те, що переважають серед них фенольні кислоти — від 100 до 1080 мг/100 г, зокрема ферулова кислота — від 2,1 до 213 мг/100 г, а також алкілрезорциноли — від 0 до 3220 мг / 100 г (табл. 1) [13, 14]. Лідерами за вмістом поліфенолів є пшениця, жито і насіння льону [11]. У насінні льону, вівсі та пшениці містяться найбільша кількість фенольних кислот і флавоноїдів. У досліджуваній сировині відмічено високий вміст цінних антиоксидантних сполук, зокрема: у насінні льону та пшениці — полістеролів ( $\beta$ -ситостерол), у насінні льону — лігнанів (SDG), у пшениці та вівсі — бетаїну та імуномодуляторів  $\beta$ -глюканів. Зазначені антиоксидантні сполуки (фенольні кислоти, поліфеноли, фітати, антоціани та ін.) продуктів переробки зернових та олійних культур сприяють покращенню здоров'я людини завдяки здатності до акцептування вільних радикалів, комплексоутворенню перехідних металів, пригніченню активності атомарного кисню, високим відновлювальним властивостям, а також захисту ферментної системи активаторів біологічних систем [15; 16].

Лідерами за вмістом поліфенолів є пшениця, жито і насіння льону [11]. У насінні льону, вівсі та пшениці містяться найбільша кількість фенольних кислот і флавоноїдів. У досліджуваній сировині відмічено високий вміст цінних антиоксидантних сполук, зокрема: у насінні льону та пшениці - полістеролів ( $\beta$ -ситостерол), у насінні льону — лігнанів (SDG), у пшениці та вівсі — бетаїну та імуномодуляторів  $\beta$ -глюканів. Зазначені антиоксидантні сполуки (фенольні кислоти, поліфеноли, фітати, антоціани та ін.) продуктів переробки зернових та олійних культур сприяють покращенню здоров'я людини завдяки здатності до акцептування вільних радикалів, комплексоутворенню перехідних металів, пригніченню активності атомарного кисню, високим відновлювальним властивостям, а також захисту ферментної системи активаторів біологічних систем [14; 15].

Таблиця 1. Вміст фенольних сполук у цільнозернових злаках і насінні льону [13]

Фіторечовини	Пшениця	Насіння льону	Овес	Жито
1	2	3	4	5
Поліфеноли, мг/100 г	70—1459	120—780	9—34	54—313
Фенольні кислоти (загальні), мг/100 г	200—900	790—1030	350—874	—
Фенольні кислоти (вільні), мг/100 г	5—39	—	50—110	—
Ферулова кислота, мг/100 г	16—213	—	2,1—2,4	30

Продовження табл. 1.

1	2	3	4	5
Флавоноїди, мг/ 100 г	30—43	35—70	5,6—8,2	—
Алкілрезорциноли, мкг/100 г	200—750	—	—	—
Авенантраміди, мг/100 г	—	—	4,9—27,5	—
Бетаїн, мг/100 г	22—291	—	11,3—100	0,5
Полістероли, мг/100 г	57—98	90—115	—	—
Лігнани, мг/100 г	40—680	1360—3210*	30—526	—

\* диглюкозид секоізолярицирезинол (SDG) — антиоксидант.

Льон і продукти його перероблення характеризуються високим вмістом таких фізіологічно-функціональних інгредієнтів, як білки з повноцінним амінокислотним складом, есенціальні поліненасичені жирні кислоти, серед яких переважає ліноленова ( $\omega$ -3) кислота, харчові волокна, що значною мірою представлені водорозчинними сполуками, здатними утворювати стійкі колоїди — слизи, а також містять вітаміни, макро- та мікроелементи, потужні антиоксиданти — лігнани, що мають також антибактеріальні та протівірусні властивості [14 16]. Харчові волокна в насінні льону — це розчинні і нерозчинні полісахариди. Розчинні полісахариди складаються з нейтральних арабосиланів. В організмі вони утворюють слизи, які вкривають плівкою слизову оболонку травного тракту, зменшують подразнюючу та всмоктування шкідливих речовин, знижують вміст холестерину в крові, зв'язуючи його, сприяють уповільненню перетравлювання в кишечнику вуглеводів, чим знижують коливання рівня глюкози в крові, регулюють концентрацію інсуліну в крові, мають пребіотичні властивості. Нерозчинні полісахариди льону — целюлоза (клітковина) та лігнін завдяки своїй високій водопоглинальній здатності виконують функції ентеросорбента, зв'язують і виводять токсичні речовини, збільшуючись в об'ємі, стимулюють моторну діяльність кишечника. Отже, цінний склад насіння льону та позитивний вплив на організм людини зумовили активне його споживання в багатьох країнах світу як збагачувальної добавки [17]. У США та Канаді на рівні міністерств охорони здоров'я сформовано рекомендації щодо обов'язкового щоденного вживання насіння льону в їжу, прийнята спеціальна національна програма, за якою рекомендовано включати насіння льону до складу хлібобулочних виробів у кількості до 12% [18]. У зв'язку із цим визначено доцільність використання льону, зернових культур у виробництві сухих рибо-рослинних напівфабрикатів для широкого спектра харчової продукції з оздоровчими властивостями. Досліджений хімічний склад пшеничних висівок врожаю 2015р., 2016 р., отриманих з ТОВ «Агросільпром» (Дніпропетровська обл.) та ЗАТ «Київмлин», житніх і вівсяних висівок врожаю 2015р., 2016 р. отриманих з ТОВ «Агросільпром» (табл. 2).

Встановлено, що досліджена рослинна сировина характеризується високим вмістом білків (від 10,6 до 28,6% С.Р.), а також харчових волокон, мінеральних речовин, вітамінів, поліфенолів та  $\beta$ -глюканів, що обумовлює перспективність їх використання для збагачення нутрієнтного складу сухих рибо-рослинних напівфабрикатів біологічно активними речовинами. Частка харчових волокон у складі продуктів переробки зернових і олійних культур складає від 26,9 до 43,6%, більша частина яких представлена легкогідролізованими полісахаридами — від 21,9 до 34,8%. У висівках вівсяних і житніх відмічено високий вміст  $\beta$ -глюкану — 5,2 та 5,0% відповідно (табл. 2), які є багатовекторними модуляторами біологіч-

ної реактивності організму і характеризуються наявністю імуностимулюючої, антихолестеринової, антиоксидантної, протизапальної та протиалергенної активностей [19; 20]. Встановлено найвищий вміст білкових речовин у шротах насіння льону — 28,6%, тоді як у висівках — у діапазоні від 10,6 до 15,60% (табл. 2). Вміст лігнанів у насінні льону в 100 разів перевищує вміст в інших продуктах.

Таблиця 2. Хімічний склад продуктів переробки рослинної сировини (% абс. СР)

Показник	Висівки пшеничні		Висівки житні	Вівсяні висівки	ШНЛ
	ЗАТ Київмлин	ТОВ «Агро-сільпром»			
Білок	15,60	13,10	12,10	10,60	28,60
Ліпіди	3,90	3,70	3,20	4,70	10,50
ЛГП	21,90	21,70	31,70	32,10	34,80
ВГП	12,30	11,20	16,40	15,20	13,60
Крохмаль	27,9	25,4	16,6	15,2	4,6
Редуруючі цукри (на мальтозу)	0,8	0,8	2,1	0,3	0,4
Сира клітковина	10,3	8,5	11,2	15,7	15,2
Харчові волокна	26,9	34,8	39,1	42,7	43,6
β-глюкан	1,7	1,8	5,0	5,2	0,6
Лігнин	2,8	11,5	10,4	6,2	6,8
Поліфеноли, мг/г	2,58	3,61	3,74	1,3	3,6
Зола	4,90	4,90	5,20	5,30	5,4
Мінеральні речовини:					
у т.ч. макроелементи, мг/100г:					
Калій	1094	1094	1188	1619	782
Кальцій	198	198	139	238	390
Магній	442	442	255	325	403
Фосфор	986	986	778	743	640
мікроелементи, мкг/100г:					
Ферум	1700	1700	3500	2300	4100
Цинк	1190	1190	1220	2980	3640
Мідь	260	260	480	550	910

Для обґрунтування рецептурного складу сухих рибо-рослинних напівфабрикатів (СРРН) на основі фаршу з комплексу тканин дрібної риби визначено доцільність використати як фізіологічно-функціональні інгредієнти продукти переробки олійних і зернових культур, які є важливою частиною харчування і джерелом есенціальних нутрієнтів. Ця рослинна сировина є важливим джерелом харчових волокон, поліфенолів, вітамінів, мінеральних елементів, а також має певний вплив на формування заданих функціонально-технологічних властивостей харчових композицій.

За результатами попередньо проведених технологічних досліджень встановлено доцільність використання СРРН на основі фаршу із термообробленої дрібної риби та рослинної сировини у борошняних кондитерських виробках, зокрема несолодких пікантних крекерах і вафельних виробках для збагачення останніх повноцінним білком та кальцієм [21; 22]. Оскільки цукор у складі тіста для крекерних і вафельних виробів виконує роль пластифікатора, то виключення його з рецептури пікантних виробів може призводити до негативної зміни реологічних властивостей тіста та до погіршення якості готових виробів. Відомо, що виключення цукру призводить до зниження виходу готових виробів, що визначає доцільність включення до їх рецептури інгредієнтів із аналогічними властивостями.

Враховуючи, що сферою застосування сухих рибо-рослинних напівфабрикатів є борошняні та комбіновані кулінарні вироби з січеної рибної, овочевої та овочево-круп'яної мас (паштети, формовані полікомпонентні кулінарні вироби), рослинна клітковина у таких технологіях може вирішувати певні технологічні завдання щодо волого- та жирутримання, регулювання гідратаційних, в'язко-пластичних та адгезійних властивостей, текстурних і сенсорних характеристик, показників якості під час зберігання. У зв'язку з цим як рослинні компоненти сухих рибо-рослинних напівфабрикатів обрано продукти переробки зернових та олійних культур — висівки та шроти. Додатковою перевагою їх використання є невисока масова частка вологи — 9—11%, що дає змогу цілеспрямовано знижувати вологість рибо-рослинних фаршів перед сушінням як фактор інтенсифікації процесу їх дегідратації [23]. Фізико-хімічні показники якості дослідних зразків дослідної рослинної сировини наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Фізико-хімічні та органолептичні показники якості рослинної сировини

Найменування показника	Значення (характеристика) показника			
	Висівки пшеничні	Висівки житні	Вівсяні висівки	ШНЛ
Масова частка вологи, %	10,70	10,07	9,50	9,60
Активна кислотність, рН	7,39	6,95	6,28	6,25
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	255	260	245	275
Гранулометричний склад, %	88 ≤ 350 мкм	72 ≤ 350 мкм	92 ≤ 350 мкм	90 ≤ 120 мкм
Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	176	158	202	276
Водопоглинальна здатність, %	406,6	459,8	417,5	642,9
Жирозв'язувальна здатність, %	163,3	148,9	175,2	189,5
Водоутримувальна здатність, %	73,4	80,2	77,8	88,9
Зовнішній вигляд, консистенція	Сухий порошок, є незначна кількість грудочок, які легко розсипаються під час механічного впливу			
Колір	Кремний	Світло-коричневий	Світло-кремний	Світло-коричневий
Запах	Чистий нейтральний невиражений смак і легкий запах відповідної рослинної сировини, без сторонніх запахів			

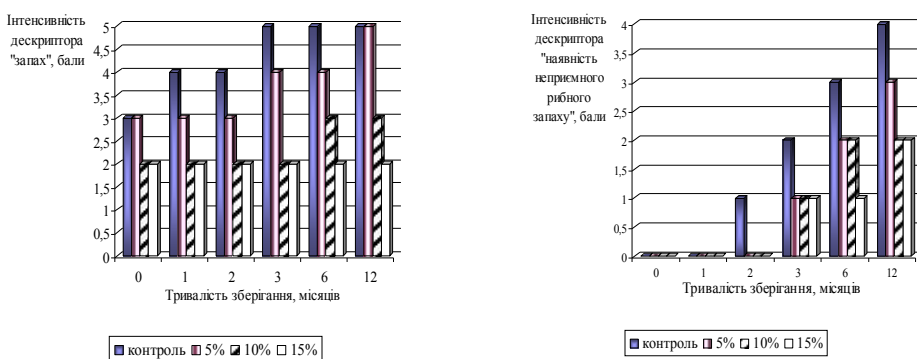
Встановлено, що дослідні зразки рослинної сировини характеризуються високими водо- та жирозв'язувальною властивостями, що визначатиме їх функціонально-технологічні властивості у харчових системах тіста, комбінованих рибо-овочевих та рибо-круп'яних мас для паштетних і кулінарних формованих виробів. Визначено, що найвищими водопоглинальною (642,9%), вологоутримувальною (88,9%) та жирозв'язувальною (189,5%) здатністю характеризується ШНЛ (табл. 3). Це обумовлює доцільність проектування композицій рослинної сировини з комплексним використанням висівок та ШНЛ у складі рибо-рослинних напівфабрикатів для забезпечення заданих функціонально-технологічних властивостей і покращення хімічного складу готової продукції. Високі сорбційні властивості рослинної сировини дають змогу проектувати її використання у складі рибо-рослинних фаршів для сушіння як з низькожирної, так і з риби середньої жирності.

Органолептична оцінка дослідних зразків дала змогу визначити, що всі види рослинної сировини мають чистий нейтральний невиражений смак і легкий запах відповідної рослинної сировини, без сторонніх запахів.

Використання такої пористої рослинної сировини, як висівки та шроти у комбінації із термообробленим фаршем рибним має певні технологічні переваги,

зокрема знижує вираженість рибного запаху сухих рибо-рослинних напівфабрикатів, який найбільш суттєво проявляється при зберіганні. Профільно-deskриптивним методом досліджували вплив рослинної сировини на формування запаху та аромату висушених і подрібнених на порошок рибо-рослинних фаршів, зміни під час зберігання. Для проведення сенсорної оцінки сухих рибо-рослинних напівфабрикатів (СРРН) використали профільний описовий (deskриптивний) метод, сутність якого полягає у тому, що складні характеристики органолептичних властивостей подають у вигляді сукупності простих складових, які оцінюються дегустаторами за якістю, інтенсивністю і порядком проявлення. Цей метод дегустаційного аналізу дає змогу отримати повний якісний і кількісний вимір інтенсивності окремих властивостей.

Визначали вплив рослинної сировини та її концентрації на сенсорні відчуття запаху СРРН. Для цього готували фарші з паро термічно обробленої тушки бичка азовського з використанням 5, 10 та 15% висівок пшеничних. Для опису запаху та аромату, базуючись на сенсорних відчуттях, дегустаційна комісія кількісно оцінювала інтенсивність deskриптора насиченість рибного запаху та наявність неприємного рибного аромату за шкалою від 0 до 5 (0 — ознака відсутня; 1 — ознака ледь відчувається; 2 — ознака має слабку інтенсивність; 3 — помірна інтенсивність ознаки; 4 — сильна; 5 — дуже сильна) (рис. 1). За результатами проведених досліджень встановлено, що використання висівок пшеничних у концентрації 10% та більше значно впливає на формування приємного рибного запаху й аромату сухих рибо-рослинних напівфабрикатів і сприяє забезпеченню кращих характеристик аромату продукту під час зберігання. Це, ймовірно, пов'язано з кращими абсорбційними властивостями пористої рослинної сировини та зниженням інтенсивності накопичення легких речовин під час зберігання, зокрема азоту легких основ та триметиламіну, що потребує проведення додаткових досліджень.



**Рис. 1. Профілі «запаху» СРРН під час зберігання з використанням 5, 10 та 15% висівок пшеничних і без рослинної сировини (контроль): а — інтенсивності рибного запаху; б — інтенсивності deskриптора «наявність неприємного рибного запаху»**

При визначенні впливу інших видів рослинної сировини, такої як висівки вівсяні та житні, на формування запаху та аромату СРРН спостерігались аналогічні зміни. Таким чином, відмічено позитивний вплив висівок на формування запаху та аромату СРРН, зокрема під час зберігання.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень встановлено, що вторинні продукти переробки зернових та олійних культур — висівки та шроти насіння льону є багатокомпонентними субстратами з високим вмістом біологічно цінних речовин, зокрема харчових волокон (розчинних і нерозчинних), поліфенолів, вітамінів, мінеральних елементів. Встановлено доцільність її використання у виробництві сухих рибо-рослинних напівфабрикатів з метою формування фізіологічно-функціональних і оздоровчих властивостей харчової продукції з їх вмістом, а також вирішення певних технологічних завдань щодо водо- та жиротримання, регулювання гідратаційних властивостей, сенсорних характеристик продукції, показників якості під час зберігання. Перспективами подальших досліджень є наукове обґрунтування раціонального складу функціональних композицій рослинної сировини у фаршах рибо-рослинних на основі моделювання їх амінокислотного складу, дослідження показників якості і безпечності, обґрунтування термінів зберігання і напрямів технологічного застосування розроблених напівфабрикатів (продовження у наступному випуску).

### ЛІТЕРАТУРА

1. Обсяги вилову риби в Україні [Електронний ресурс] // Сайт Державного агентства рибного господарства України. — Режим доступу : URL : <http://darg.gov.ua/index.php>. — 15.03.2017 р.
2. Добування водних біоресурсів за 2015 рік. Статистичний бюлетень.: К, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm). — 10.02.2016 р.
3. Elleuch M. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review [Electronic recourse] / M. Elleuch, D. Bedigian [et.al.]// Accessed mode : <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.
4. Borderías A.J. Fibre-enriched seafood [Text] /A.J. Borderías, M. Pérez-Mateos, I. Sánchez-Alonso// Fibre-Rich and Wholegrain Foods. Food Science, Technology and Nutrition. — 2013. — P. 348—368.
5. FAO Statistical Yearbook 2010. Word Food and Agriculture [Electronic recourse] / Word Food and Agriculture Organization of The United Nations. — Roma, 2010// Accessed mode : <http://www.fao.org>.
6. Журлова Е.Д. Фитокомпоненты зернового сырья: строение, свойства, применение [Текст] / Е.Д. Журлова. Л.В. Капрельянц// Пищевая наука и технология. — Одесса, 2013. — № 4. — 3—7.
7. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов [Текст] / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. — М. : Брандес, Медицина, 2006. — 380 с.
8. Арасимович В.В. Методы анализа пектиновых веществ, гемицеллюлоз и пектолитических ферментов [Текст] / В.В. Арасимович, Н.П. Балтага, Н.П. Пономарева. — Кишинев, Ан МССР, 1970. — 52 с.
9. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений [Текст] / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович. — Л. : Агропромиздат, 1987. — 430 с.
10. The estimation of  $\beta$ -glucan in barley [Text] / M. Flammig, D.J. Manners, R.M. Jackson, S.C. Cooke // J.Inst.Brew. — 1974. — Vol. 80. — P. 399—404.
11. Иунихина В. Крупажные продукты — источник пищевых волокон [Текст] / В. Иунихина // Хлебпродукты. — 2009 — № 5. — С. 44— 46.
12. Wu X. Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States [Text] / Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Prior, R.L. // J. Agric. Food Chem. — 2004. — 52. — P. 426—437.

13. Belobrajdic Damien P. The potential role of photochemicals in wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes [Text] / Danuen P. Belobrajdic. Anthony R. Bird // Nutrition Journal. — 2013. # 12. — P. 1—12.
14. Капрельянц Л.В. Биологически активные фитовещества зерновых [Текст] / Л.В. Капрельянц // Зерновые продукты и комбикорма. — 2010. — № 2. — С. 13—15
15. Shahidi F. Phenolics in food and nutraceuticals [Text] / F. Shahidi, M. Naczki // London, 2004. — 540 p.
16. Киреева М.С. Перспективное использование семени льна в специализированном питании / М.С. Киреева // Мат. Межд. науч.-пр. сем-ра «Роль льна в улучшении среды обитания и активного долголетия человека». — Тверь, 2012. — С. 181—185.
17. Юрченко О.О. Насіння льону та продукти переробки на його основі як природні антиоксиданти / О.О. Юрченко // Збереження та переробка зерна. — 2011. — № 4. — С. 66—67.
18. Шрот насіння льону в технології хлібобулочних виробів/ В.І. Дробот, О.П. Іжевська, Ю.В. Бондаренко// Харчова наука і технологія. — 2016. — Vol. 10, № 3. — С. 76—81.
19. Lehne G. Oral administration of a new soluble branched beta-1,3-D-glukan is well tolerated and can lead to increased salivary concentrations of immunoglobulin A / Lehne G. [et.al.] // Clin. Exp. Immunol. — 2006. — 143(1). — P. 65—69.
20. Малаченко Д.Ю. Содержание растительных бета-глюканов в пищевых продуктах и сырье/ Д.Ю. Малаченко, Е.А. Смирнова // Вопросы питания. — Том 83, № 3. — 2014. — С. 188.
21. Федорова Д.В. Нові солоні вафельні вироби «Крекіси рибні» з використанням рибо-рослинних напівфабрикатів [Електронний ресурс //Траєкторія науки. Електронний научний журнал. — 2016. — № 4(9). — Режим доступу : [www.pathofscience.org](http://www.pathofscience.org).
22. Федорова Д.В. Технологічні аспекти комплексного використання бичка азоського замороженого у виробництві рибо-рослинних напівфабрикатів [Текст] / Д.В. Федорова, Ю.В. Кузьменко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — К, 2015. — Том 21. — № 6(22). — С. 167—181.
23. Федорова Д. Кінетика процесу сушіння та якості рибних напівфабрикатів [Текст] / Д. Федорова, Р. Романенко // Товари і ринки. — К, 2016. — 2(22). — С. 158—177.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ РЫБО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

**Д.В. Федорова**

*Киевский национальный торгово-экономический университет*

*В статье систематизированы данные научных исследований по содержанию эссенциальных нутриентов и полифенолов в продуктах переработки зерновых и масличных культур, оздоровительных свойств данного сырья. Приведены результаты экспериментальных исследований химического состава отрубей пшеничных, овсяных, ржаных и шрота семян льна, их физико-химических свойств. Обоснована целесообразность их использования в производстве сухих рыбо-растительных полуфабрикатов.*

**Ключевые слова:** мелкая рыба, эссенциальные нутриенты, отруби, шрот семян льна, сухие рыбо-растительные полуфабрикаты.

УДК 664.87:637.1:635.4

## USE OF NON-TRADIATIONAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF MILK SOUSS

**T. Lalenko, V. Bakhmach, T. Zinchenko, I. Coretsky***National University of Food Technologies***M. Bandurenko***Kyiv Cooperative Institute of Business and Law***Key words:**

sawnet,  
whey,  
fortificant sauce,  
model samples of sauces  
(MSS),  
homogenized pasta of  
sawnet (HPS).

**Article history:**

Received 05.10.2017

Received in revised

form 20.10.2017

Accepted 06.11.2017

**Corresponding author:**

lalenkotamila@ukr.net

**ABSTRACT**

The article analyzes the current state of nutrition and health of Ukraine population, which is deteriorating at the present stage. At this moment, there is an increase in the popularity of sauces and an increase in demand for sauces, so it was decided to develop a formula fortified milk souce, which would contain of raw materials with a high content of food protein. The use of new vegetative protein-containing raw material of the sawnet and serum of milk for the correction of protein deficiency is suggested. The new recipes of the sauce contained milk whey and 5%, 10% and 20% homogenized pasta from the herb. On the basis of model sauces, physico-chemical, rheological, organoleptic studies of sauces with protein-containing raw materials were performed, the optimum amount of safflower sauce has been determined, and the biological and energy value has been calculated. Using of acanthas and whey for the creation of food products will enable them to enrich their vitamin and amino acid composition, improve their nutritional value.

## ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ МОЛОЧНОГО СОУСУ

**Т.В. Лаленко****В.О. Бахмач, канд.техн.наук****Т.В. Зінченко, канд.ф.-м. наук****І.Л. Корецька, канд.техн.наук***Національний університет харчових технологій***Г.М. Бандуренко, канд.техн.наук***Київський кооперативний інститут бізнесу і права*

У статті проаналізовано сучасний стан харчування населення України та запропоновано використання нової рослинної білкової сировини щавнату і сироватки молочної для корегування білкового дефіциту. На базі модельних зразків соусів проведені фізико-хімічні, реологічні, органолептичні дослідження соусів з білковою сировиною, визначено оптимальну кількість внесення щавнату до рецептури соусу, а також розраховано біологічну та енергетичну цінність.

**Ключові слова:** щавнат, молочна сироватка, фортифікований соус, модельні зразки соусів, гомогенізована паста щавнату.



**Постановка проблеми.** Сучасні умови харчування та прискорений ритм життя призвели до погіршення стану організму людини. Зважаючи на сучасні екологічні умови, раціон харчування повинен містити достатню кількість вітамінів, мінеральних речовин, незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон та інших природних біологічно активних речовин, які здатні підвищувати резистентність організму людини до впливу негативних чинників довкілля.

Стан здоров'я населення України на сучасному етапі погіршується. Висока кількість різноманітних захворювань, пов'язаних з недостатнім надходженням в організм білків і вітамінів, послаблюють організм людини, позбавляють його функції природнього самозахисту.

Здоров'я людини залежить від багатьох факторів. Вважається, що приблизно на 50% здоров'я визначають соціально-економічні умови, що включають спосіб життя (умови праці, звички, моральне і психологічне навантаження, матеріально-побутові умови) — 10%; та якість харчування — 40%. На 20% здоров'я залежить від спадковості і на 20% — від впливу довкілля. І лише на 10% здоров'я обумовлене системою охорони здоров'я.

Проблемою сьогодення є недостатня забезпеченість населення білковими продуктами харчування. Білковий та амінокислотний дефіцит негативно відбивається на стані здоров'я, працездатності й тривалості життя людей. Одним із напрямів подолання білкового дефіциту є пошук нових рослинних джерел харчового білка та розроблення способів їх використання для збагачення харчових продуктів масового попиту.

Забезпечення населення високоякісними продуктами харчування підвищеної харчової цінності — актуальна проблема сьогодення.

**Мета дослідження:** розробка сучасних способів збагачення соусів білками рослинного походження, збільшення поживної цінності та розширення асортименту соусів.

**Матеріали і методи.** Об'єкт дослідження — соус молочний. Предмет дослідження — шавнат сорту «Київський Ультра», сироватка молочна. Методи досліджень — органолептичні, фізико-хімічні, експериментально-статистичні.

**Результати досліджень.** Білки є найбільш важливими у біологічному відношенні з усіх органічних речовин, які входять до складу живих організмів. Вони складають приблизно 20% маси тіла людини і більше 50% сухої маси клітини. Білок є основним матеріалом для клітин організму. Він бере участь у всіх процесах, але особливу роль виконує в будові тканин м'язів.

Білок в організм надходить тільки з продуктами харчування, він не здатний синтезуватися з вуглеводів і жирів, але з нього можна отримати деякі жири і вуглеводи. Нестача білка в організмі може призвести до тяжких наслідків. Ця органічна сполука відіграє важливу роль у будівництві клітин нашого організму. Нестача білка в організмі супроводжується серйозними порушеннями обміну речовин (аж до загибелі організму), а також зниженням його стійкості та опору інфекційним хворобам.

Серед великої кількості білковмісної сировини заслуговує на увагу культура нового покоління шавнат, яка містить велику кількість поживних речовин та рослинного білка і є актуальним вирішенням проблеми сьогодення.

Сьогодні спостерігається зростання популярності соусів і підвищення попиту на соусну продукцію. Особлива увага приділяється емульсійним соусам

на плодovій, ягідній та овочевій основі, які використовуються для надання певних смакових властивостей м'ясним, рибним, круп'яним або десертним стравам. Соуси здатні скоригувати хімічний склад основної страви, підвищити харчову цінність, покращити зовнішній вигляд, вплинути на калорійність і її засвоюваність.

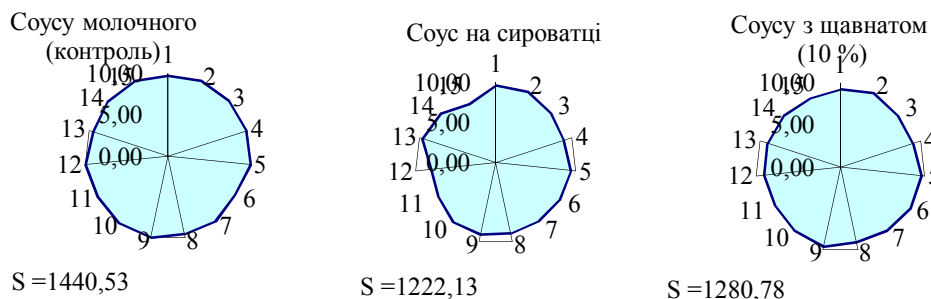
Оскільки соуси є найпопулярнішою добавкою до будь-якої страви, їх намагаються всебічно удосконалювати, приділяючи особливу увагу харчовій цінності. Було вирішено розробити рецептуру фортифікованого молочного соусу, який би містив сировину з високим показником вмісту харчового білку [1].

З метою підвищення біологічної цінності соусу до рецептури додали нову рослинну культуру щавнат сорту «Київська ультра», а також сироватку молочну. Цей сорт щавнату є цінним, адже в ньому міститься високий вміст аскорбінової кислоти та каротину: відповідно 1103,71 та 53,06 мг/% на суху речовину. Сума замінних амінокислот становить 14,9 г на 100 г сухих речовин щавнату; незамінних — 10,12 г/100 г; тобто незамінні амінокислоти складають 40,33% від загальної кількості амінокислот [2,3].

Нові рецептури соусу містили молочну сироватку та 5%, 10% і 20% гомогенізованої пасти з щавнату (ГПЩ). У дослідних зразках визначали органолептичні, фізико-хімічні, реологічні показники, біологічну та енергетичну цінність.

Порівняння амінокислотного складу щавнату та молочної сироватки з білком курячого яйця показав, що сумарна масова частка незамінних амінокислот сироватки становить 46,8 г/100 г білка, щавнату — 40,73 г/100 г, а в білку курячого яйця — 36,0 г/100 г [4].

На основі розроблених модельних зразків соусів (МЗС) проведено дегустаційну оцінку та складено профілографи якості за методом «Багатокутник якості», площа якого становить сума добутків всіх показників [5; 6].



**Рис. 1. Профілограмми якості модельних зразків соусів:**

1 — однорідність включень; 2 — натуральність; 3 — чистота; 4 — однорідність; 5 — натуральність; 6 — солоність; 7 — інтенсивність; 8 — однорідність; 9 — натуральність; 10 — чистий; 11 — виразний; 12 — збалансований; 13 — густина; 14 — в'язкість; 15 — плинність

Найбільшу площу за показниками після контрольного зразка має МЗС з додаванням ГПЩ в кількості 10%, площа «багатокутника якості» якого становить 1280,78 бали. Контрольний зразок отримав 1 440,53 балів, зразок на основі молочної сироватки — 1 222,13 балів.

Визначено фізико-хімічні показники МЗС: масова частка сухих речовин, кислотність, питомий об'єм (табл. 1). Масова частка сухих речовин є найважливішим показником, який значною мірою визначає якість сировини, напівфабрикатів і готових виробів. Кислотність виробів є нормованим показником, обумовлює смакові властивості продукту і визначає його свіжість та доброякісність.

При визначенні масової частки сухих речовин встановлено, що збільшення кількості додавання ГПЩ в соус, а також заміна молока на сироватку молочну призводить до збільшення масової частки сухих речовин, яка не перевищує показник контрольного зразка, також збільшується титрована кислотність.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники модельних зразків соусів

Соус (модельні зразки)	Масова частка сухих речовин, %	Кислотність, град.	Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /г
МЗС контроль	20,4	1,4	148
МЗС на сироватці	20,6	9,6	134
МЗС зі щавнатом 5%	20,2	2,6	150
МЗС зі щавнат 10%	20,3	2,8	154
МЗС зі щавнат 20%	20,4	3,1	158

Визначення реологічних властивостей зразків соусів проводили на приладі «Реотест-2». Реологічні криві в'язкості та плинності соусів представлені на рис. 2—3 [7; 8].

Аналізуючи характер реологічних кривих плинності, можна зробити висновок, що структура досліджуваних зразків відноситься до коагуляційного типу ( $Pk1 > 0$ ). Зміна концентрації вмісту щавнату в більшу сторону в технології приготування соусів негативно впливає на показники його плинності.

Найбільш міцний структурований каркас системи ( $Pm$ ) наявний у досліджуваному зразку з вмістом сироватки, а серед щавнатовмісних зразків — соус з концентрацією щавнату 5%. Діапазон напружень ( $Pm/Pk1$ ), в яких відбувається руйнування структури найбільш виражений у зразку з концентрацією щавнату в рецептурі 10%, при цьому найменший показник отримав соус з концентрацією щавнату 20%. Найбільша в'язкість системи з практично незруйнованою структурою ( $\eta_0$ ) представлена серед щавнатовмісних зразків — соус із концентрацією щавнату 5%.

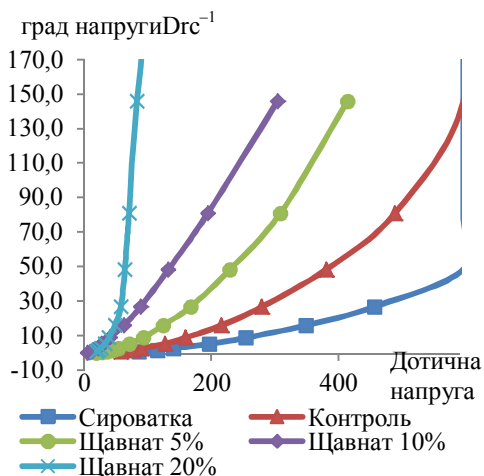


Рис. 2. Реологічні криві течії соусів

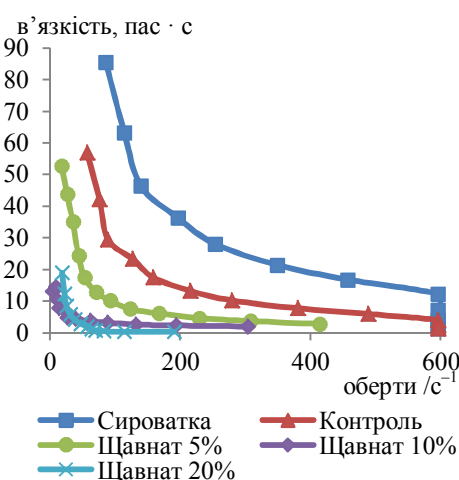


Рис. 3. Реологічні криві в'язкості соусу

Найменша в'язкість системи з практично зруйнованою структурою ( $\eta_m$ ) спостерігається в досліджуваному зразку з концентрацією щавнату 20%. Найбільша міцність утвореної в системі надмолекулярної структури, що характеризує аномалія в'язкості ( $\eta_0$ — $\eta_m$ ) в контрольному зразку соусу. Для щавнатовмісних соусів цей показник найбільший для рецептури з вмістом щавнату 5%.

Для визначення рівня якості МЗС використовували комплексний метод, для розрахунку якого взяли такі показники, як в'язкість, кислотність, питомий об'єм, вологість і смак. Усі значення переведено в бали, значення контрольного зразка прийнято за 10 балів. Границею допустимих значень є 6 балів. За методом багатокутника підраховали загальну суму балів і побудували діаграму. Результати наведені на рис. 4 [9].

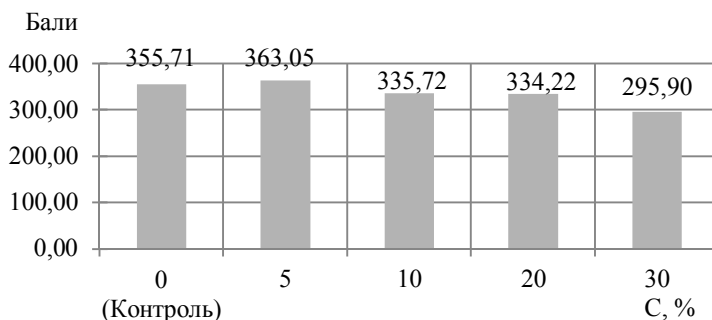


Рис. 4. Комплексний показник модельних зразків соусів

Зразок з концентрацією пасту шавнату 5% перевищує контрольний, при збільшенні концентрації пасту шавнату комплексний показник погіршується. Модельний зразок з концентрацією 30% має критичне значення показників, тому більші концентрації не розглядаються.

Наші дослідження показали, що при використанні ГПЩ у технології приготування соусів важливо враховувати кількість внесення пасту до рецептури. Результати зображено у табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика енергетичної цінності МЗС

Назва зразка	Калорійність, ккал	Вміст в 100 г страви, г		
		Білків	Жирів	Вуглеводів
Соус молочний (контроль)	110,63	3,43	6,68	9,09
Соусна основі молочної сироватки	83,38	2,16	4,04	9,56
Соус молочний з додаванням шавнату в кількості 5%	117,05	4,79	6,7	9,27
Соус молочний з додаванням шавнату в кількості 10%	123,47	6,15	6,75	9,45
Соус молочний з додаванням шавнату в кількості 20%	136,31	8,87	6,81	9,81

Проаналізувавши харчову та енергетичну цінність страв, визначили, що з усіх досліджуваних зразків найбільшу калорійність має соус з додаванням шавнату в кількості 20%, а при зменшенні кількості внесення шавнату, їх енергетична цінність соусів знижуються. Найменшу калорійність має соус на основі молочної сироватки [10].

Виходячи з вищенаведених результатів, можна зробити висновок, що оптимальне відсоткове співвідношення для внесення до рецептури соусів гомогонізованої пасту із шавнату становить 10%.

*Біологічна цінність* — показник якості харчового білка, відображає ступінь відповідності його амінокислотного складу потребам організму людини в амінокислотах для синтезу білка.

Існує розрахунковий спосіб визначення біологічної цінності білка — це метод порівняння складу незамінних амінокислот (АК) цього білка з відповідним амінокислотним складом «ідеального» білка за допомогою розрахунку амінокислотного скору (АС).

Амінокислотний скор нових соусів розраховували як відношення фактичного вмісту білка до рекомендованого ФАО/ВООЗ, вираженим у відсотках. Порівняння амінокислотного скору нових соусів з ідеальним білком представлено на рис. 5.

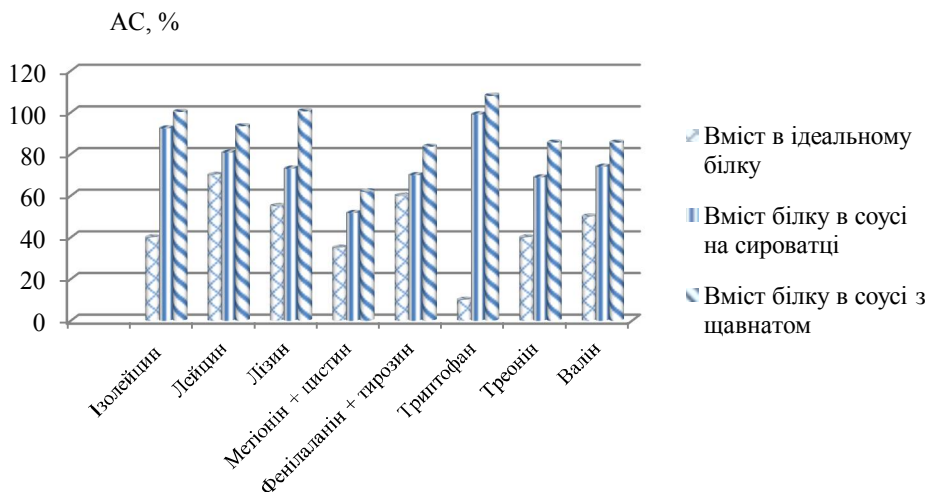


Рис. 5. Амінокислотний скор нових соусів

Скор нових соусів перевищує скор ідеального білка.

**Висновки.** Враховуючи отримані дані, ми пропонуємо коригувати білковий дефіцит страв нашим соусом. При додаванні до харчового раціону порції соусу з шавнатом енергетична цінність фортифікованого соусу збільшилась на 13 ккал, а добова забезпеченість в білку становитиме 5...8%. При додаванні соусу на сироватці енергетична цінність зменшується на 27,3 ккал, добова забезпеченість в білку становитиме — 2..4%.

Застосування шавнату та молочної сироватки для створення харчових продуктів дасть змогу збагатити їх вітамінний та амінокислотний склад, підвищити харчову цінність.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий: Для предприятий общественного питания/ Авт.-сост.: А.И.Здобнов, В.А.Цыганенко, М.И. Пересичный. — К. : Арий, 2011. — 656 с.
2. Бажай-Жежерун С. Біологічна цінність білка шавнату / С. Бажай-Жежерун, В. Ткачук, Д. Рахметов // Міжнародна науково-практична конференція, оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека. — Київ : НУХТ 2014. — С. 169.
3. Свідоцтво № 06157 про авторство на сорт рослини шавнат сорту «Київський ультра».
4. Феномен молочної сыворотки / А.Г. Храмцов. — СПб. : Профессия, 2012. — 804 с.
5. Sobin O. Provision of population by protein content food / O. Sobin, T. Lalenko, I. Kotska // 83 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті». — Київ : Національний університет харчових технологій, 5—6 квітня, 2017 р. — С. 323.

6. *Корецька І.Л.* Оцінювання нових харчових виробів за допомогою критерію «Багатоцукник якості» / І.Л. Корецька, Т.В. Зінченко // Наукові праці НУХТ. — 2003. — № 14. — С. 64—65.

7. *Грабовська О.В.* Реологія харчових мас: Метод. вказ. до викон. лаб. робіт для студ. технол. спец./ Уклад.: О.В. Грабовська, Є.І. Ковалевська. — К. : НУХТ, 2009. — 24 с.

8. *Горальчук А.Б.* Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Навчальний посібник / А.Б. Горальчук, П.П. Пивоваров, О.О. Гринченко, М.І. Погожих, В.В. Полевич, П.В. Гурський/ Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. — Харків, 2006. — 63 с.

9. *Зинченко Т.В.* Решение задачи выбора оптимальной концентрации ингредиента как задачи многокритериальной оптимизации / Т.В. Зинченко, И.Л. Корецкая // Хранительна наука, техника и технологии. Пловдив. — 2013. — Том LX. — С. 131—137.

10. Методика визначення хімічного складу та енергетичної цінності продуктів харчування [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z-0146-00>.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МОЛОЧНОГО СОУСА

**Т.В. Лаленко В.А. Бахмач, Т.В. Зинченко, И.Л. Корецкая**

*Национальный университет пищевых технологий*

**М. Бандуренко**

*Киевский кооперативный институт бизнеса и права*

*В статье проанализировано современное состояние питания населения Украины и предложено использование нового растительного белковосодержимого сырья щавната и сыворотки молочной для корректировки белкового дефицита. На базе модельных образцов соусов проведены физико-химические, реологические, органолептические исследования соусов с белковосодержимым сырьем, определено оптимальное количество внесения щавнату в рецептуру соуса, а также рассчитано биологическую и энергетическую ценность.*

**Ключевые слова:** *щавнат, молочная сыворотка, фортифицированный соус, модельные образцы соусов, гомогенизированная паста щавната.*

УДК 664.144

## DIETARY SUPPLEMENTS: THE UP-TO-DATE APPROACHES TO CREATION AND THEIR PLACE IN THE HEALTHY NUTRITION SYSTEM

G. Simakhina, N. Naumenko

National University of Food Technologies

---

### Key words:

dietary supplements,  
quality,  
safety,  
healthy nutrition,  
biologically active  
substances,  
food raw materials.

---

### Article history:

Receive 07.09.2017  
Received in revised  
form 21.09.2017  
Accepted 15.10.2017

---

### Corresponding author:

lyutik.0101@gmail.com

---

### ABSTRACT

The authors of the article highlighted the problems of creation and construction of the new dietary supplements under different viewpoints (technological, social-economical, terminological), and thereafter outlined the perspectives of studying various food substances (including those minor) in order to use them furthermore in technologies of the new generation foodstuffs. The authors also paid the proper attention to curative plants as the potential sources of bioflavonoids, vitamins, and other biologically active substances. There was shown that dietary supplements must necessarily be added to the diets as the component to provide the full energetic and nutritive value of food, its taste qualities, and positive influence on human health. Therefore, so great should be the attention to pay to creation, production and usage of these supplements, and also to the problems of their quality, safety, and effectiveness.

---

## ДІЄТИЧНІ ДОБАВКИ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ТА МІСЦЕ У СИСТЕМІ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ

Г.О. Сімахіна, д-р техн. наук

Н.В. Науменко, д-р філол. наук

Національний університет харчових технологій

*У статті під різними кутами зору (технологічним, соціально-економічним, термінологічним) розглядаються проблеми створення та конструювання нових дієтичних добавок, окреслюються перспективи вивчення різноманітних харчових речовин (зокрема мінорних) із метою їх подальшого застосування в технологіях оздоровчих продуктів нового покоління. Наложну увагу приділено також лікарським рослинам як потенційним джерелам біофлавоноїдів, вітамінів та інших біологічно активних речовин.*

**Ключові слова:** дієтичні добавки, якість, безпека, оздоровче харчування, біологічно активні речовини, харчова сировина.

**Постановка проблеми.** Виробництво та обіг дієтичних добавок останнім часом у всіх економічно розвинутих країнах стає однією із галузей харчової та медичної промисловості, які найбільш динамічно розвиваються і є ефективним засобом підвищення якості життя населення [1]. Такий вид оздоровчої продукції називали «Біологічно активні добавки до їжі» (БАД до їжі). Її відносили до

групи «Харчові добавки», оскільки саме так перекладались з англійської і “Food Additives” і “Food supplements.” Те, що ми розуміємо під поняттям “Food supplements”, якраз і отримало назву БАД до їжі, що дало змогу чітко розмежувати ці дві цілком різні за складом, призначенням і використанням групи продукції. Саме БАД до їжі у більшості країн визначено як засіб найбільш швидкого подолання в раціонах дефіциту есенціальних харчових речовин та мінерних компонентів [2], і поставлено завдання активного розвитку власного виробництва такої продукції.

Чому це так важливо на даному етапі?

Дослідження, проведені в різних країнах світу за останні 15—20 років, показали, що в результаті науково-технічної революції енерговитрати середньостатистичного громадянина знизились із 3000...3500 ккал/добу до 1900...2400 ккал/добу. Отже, знижується потреба в кількості їжі, та водночас зменшується і її роль як джерела харчових сполук, особливо мікронутрієнтів [3]. Однак потреба людини у всіх біологічно активних речовинах (БАР) харчових продуктів не змінилась, тому що вона склалась протягом еволюції людини та закріпилась на генетичному рівні.

Простий розрахунок показує: для отримання 3500 ккал енергії необхідна певна кількість харчових продуктів, а для 2000 ккал — вона має бути майже вдвічі меншою. В результаті в організм надходить удвічі менше есенціальних нутрієнтів, ніж це необхідно для його життєзабезпечення. Щоб подолати цю розбіжність, потрібні інші підходи до створення та виробництва нового покоління харчових продуктів, які містили б життєво необхідні нутрієнти у підвищених концентраціях, і зменшення кількості спожитої їжі не впливало на ступінь забезпечення ними організму людини [4].

**Метою дослідження** є визначення основних засад формування в Україні індустрії дієтичних добавок, характеристика маловивчених біологічно активних речовин як компонентів таких добавок і розширення технологічного потенціалу вітчизняної сировинної бази.

**Матеріали і методи.** В основу методологічної бази дослідження покладено методи наукового пізнання, системного підходу, узагальнення праць зарубіжних і вітчизняних учених, принципово нові дані доказової медицини стосовно біологічної ролі БАР у функціонуванні організму людини.

**Результати досліджень.** Сьогодні увагу науковців привертають досі малодосліджені біологічно активні речовини, які, як з'ясувалось, є надзвичайно важливими для організму людини. Це передусім такі сполуки:

- різні групи флавоноїдів, фізіологічні функції яких надзвичайно різноманітні і важливі для зниження ризику розвитку багатьох поширених захворювань, включаючи серцево-судинні та онкологічні [5];

- індоли, однією із найважливіших функцій яких є регулювання активності метаболічних ферментів і знешкодження чужорідних сполук [6];

- екзогенні пептиди та окремі амінокислоти та їхні суміші, участь яких у регулюванні функцій організму доведено численними дослідженнями [7].

Доведено важливу роль як необхідних компонентів їжі і таких сполук, яким раніше не надавалось належної уваги і механізм дії яких на сьогодні значною мірою розшифровано: органічні кислоти, фенольні сполуки, ізофлавонони, глюкоманани, поліфруктани, інулін, хлорофіл, кофеїн, глюкозаміни, хондроїтини, хітозани та інші [8].



Біофлавоноїди в зарубіжній літературі називають першим сімейством антиоксидантів [9]. Недаремно у сучасній медицині віднедавна з'явився термін «флавоноїдне навантаження», тобто вміст у крові біофлавоноїдів, що свідчить про здатність організму протистояти розвиткові онкологічних хвороб. Середньостатистичний мешканець Японії має флавоноїдне навантаження у 50 разів вище, ніж європеець, і, відповідно, найнижчий рівень захворюваності гормонально залежними видами раку [9]. За різними літературними даними, оптимальним є споживання флавоноїдів від 50 до 500 мг на день.

Кофермент Q<sub>10</sub>. На сьогодні його визнано життєво необхідною сполукою. Учені офіційно називають її убіхіноном — від пізньолат. “ubiquitous”, всюдисущий. Q<sub>10</sub> відіграє незамінну роль у виробленні енергії в кожній клітині, подовжуючи термін їхнього життя. А ще — захисник організму від руйнівної дії вільних радикалів і стимулятор імунної системи; убіхінон сповільнює та гальмує процеси старіння [10], і він може бути найважливішим з усіх антиоксидантів для запобігання атеросклерозу.

Предметом досліджень багатьох науковців та практиків є карнітин [10]. Відкриття і його дослідження виявили надзвичайно дієвий засіб боротьби з хворобами серця. Його застосовують також у лікуванні атрофії м'язів, щитовидної залози, хвороби Альцгеймера, СНІДу, онкозахворювань. Серце цілком і повністю залежить від карнітину — 70% його енергозабезпечення надходить від жирів, які організм не може спалювати без його допомоги.

Отож, на сьогодні доведено важливу роль багатьох мікронутрієнтів та мінорних компонентів їжі як есенціальних елементів. Розшифрування механізму їхнього впливу на живий організм — це наукове підґрунтя їх включення до складу дієтичних добавок, харчових продуктів як для масового, так і індивідуального споживання.

Джерелами виробництва дієтичних добавок можуть бути дикорослі плоди та ягоди, лікарські рослини, морепродукти, продукти біотехнологічного синтезу, бджільництва тощо. Ефекти компонентів дієтичних добавок реалізуються шляхом ініціювання універсальних механізмів адаптаційних і пристосувальних реакцій організму на впливи зовнішніх та внутрішніх чинників найрізноманітнішої природи.

Дієтичні добавки можна використовувати і при різноманітних захворюваннях разом з лікарською терапією як лікувально-профілактичне харчування. Разом з тим необхідно враховувати сумісність компонентів дієтичних добавок з лікарськими засобами, щоб уникнути можливої їх антагоністичної взаємодії і, як результат, негативного впливу на організм людини. І, звичайно, слід мати на увазі, що дієтична добавка лише тоді розглядається як джерело мікронутрієнтів, коли частка кожного з них перевищує 10% добової потреби.

Для практичного використання дієтичних добавок як безпосередньо, так і в складі харчових продуктів доцільно звернутися до досвіду фармацевтичної промисловості, яка випускає лікарські препарати у вигляді таблеток, капсул, порошків, драже, екстрактів тощо. Це забезпечує строге дозування компонентів і створення широкого спектра продукції для спеціалізованого харчування. Для використання дієтичних добавок як збагачувачів різних харчових середовищ придатними є різні форми — рідкі (екстракти, концентрати), порошки, пюре, композиційні суміші.

Формування складу добавки вимагає дотримання умов ефективності, якості та безпеки: вміст вітамінів не повинен перевищувати рекомендовану величину

добового споживання більш ніж у 3 рази для вітамінів А, D, К, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, ніацину, фолієвої та пантотенової кислот, біотину; і не більш ніж у 10 разів для вітамінів С та Е [11]. Вміст мінеральних речовин у складі існуючих дієтичних добавок здебільшого не перевищує добову потребу в них у 2 рази. Разом з тим, з нашої точки зору, при розрахунку концентрації макро- та мікроелементів у складі дієтичних добавок необхідно враховувати не лише добову потребу у певному елементі, а й ступінь його засвоюваності живим організмом (ці дані можна знайти у медичній літературі), оптимум концентрації, токсичну дозу та характер взаємодії.

Відомо, наприклад, що ймовірність взаємодії між мінеральними елементами внаслідок їх лабільності та здатності до утворення зв'язків значно більша, ніж між іншими нутрієнтами (В.І. Георгієвський, 1979). Взаємовплив сполук здійснюється як у самому харчовому продукті, так і на рівні шлунково-кишкового тракту, а також у процесах тканинного та клітинного метаболізму.

Загалом у добовій дозі дієтичної добавки вміст вітамінів і мінеральних елементів має складати від 10 до 100% від рекомендованого добового рівня споживання (у функціональному продукті цей діапазон становить 10...50%). Варто ще раз наголосити на тому, що на відміну від харчових добавок, до складу дієтичних, призначених до використання в системі здорового харчування, мають входити лише натуральні складники [12; 13].

Серед природних джерел дієтичних добавок важливе місце посідають лікарські рослини, перевірені з точки зору ефективності та позитивного впливу і народною, і офіційною медициною. Разом з тим залишаються поки що невирішеними питання ефективного контролю за безпекою дієтичних добавок з використанням лікарських трав і продуктів їхнього перероблення. Передусім з точки зору рекомендованого рівня лікарських трав у складі дієтичних добавок, допустимої кількості різних видів трав в одній композиції, доцільність чи заборона використання трав різноспрямованої дії для певної композиції, обґрунтованості застосування екзотичних рослин тощо [11].

Тому при розробленні дієтичних добавок необхідно орієнтуватись на ті види лікарських рослин, які дозволені офіційною медициною для виробництва фармакологічних препаратів і розраховувати кількість їх внесення залежно від біохімічного складу [14]. Вартим уваги є також розрахунок вмісту лікарських рослин у складі дієтичної добавки (БАД до їжі), рекомендований російськими ученими В. Тутельяном та Б. Сухановим. Розрахунок ґрунтується на припущенні, що у складі добової кількості дієтичної добавки вміст біологічно активних сполук лікарської сировини не повинен перевищувати 50...60% разової терапевтичної (лікувальної) дози при використанні цієї рослини в якості лікарського препарату. При цьому нижня межа вмісту БАР у складі дієтичної добавки не повинна бути меншою за 10% від разової терапевтичної дози. Окрім дотримання питання безпеки, такий підхід підтверджує, що дана добавка належить до групи харчових продуктів, а не фармакологічних препаратів.

Належної уваги заслуговує питання виробництва дієтичних добавок для дітей. Як і в дорослих, у дітей виявлено дефіцит багатьох вітамінів, мінеральних речовин, інших біологічно активних речовин. Тому використання дієтичних добавок у харчуванні дітей — як безпосередньо, так і у вигляді збагачувачів харчових середовищ — є обґрунтованим і доцільним, у тому числі з використанням лікарських рослин. Згадаймо популярний напій «Живчик», до складу

якого входить екстракт ехінацеї. Однак перелік лікарських рослин у цьому секторі досить обмежений і включає лише ті, у яких відсутні компоненти з вираженим фармакологічним ефектом. Адже в дитячому організмі метаболічні системи ще недостатньо сформовані і не здатні протидіяти підвищеним навантаженням.

Так, нормативними матеріалами СанПіН 2.3.3.1940.-05 «Організація дитячого харчування» до використання у складі добавок дозволено лише 35 видів лікарської сировини, що відповідає необхідним біологічним показникам. У цьому переліку відсутні, наприклад, такі популярні лікарські рослини, як глід, звіробій, спориш, чистотіл, підбіл, корінь солодки тощо.

**Висновки.** Сучасний шалений темп життя, техногенні катастрофи, постійне психологічне перенапруження та інші чинники хімічної, фізичної та біологічної природи негативно впливають на організм людини, примушують працювати органи та функціональні системи у посиленому режимі, що призводить до їх виснаження і прискороеного старіння. Тому позитивне, здорове харчування, яке містить у необхідних кількостях і оптимальному співвідношенні всі нутрієнти, є практично єдиним способом нормалізувати діяльність організму, знизити ризик різноманітних захворювань, забезпечити відчуття гармонії між людиною та природою. На сьогодні з'ясовано механізм дії багатьох біологічно активних речовин харчових продуктів на функціональну активність органів та систем організму людини. Тому виробництво та застосування дієтичних добавок, що містять у концентрованому вигляді всі БАР, набирає особливої актуальності в Україні і стає предметом досліджень науковців та практиків. Саме завдяки таким дослідженням з'ясовуються позитивні ефекти тих БАР, яким раніше не приділяли уваги; маловивченим сполукам, які не належать до категорії незамінних, однак відіграють надзвичайно важливу роль у підтриманні здоров'я, і саме на прикладі таких сполук стає зрозумілою відносність понять «замінний» та «незамінний».

Дієтичні добавки виробляють із рослинної, тваринної, мінеральної сировини. Важливим є пошук і введення до сфери харчових технологій нових джерел, у тому числі нетрадиційних. І в цьому сенсі велику роль відіграють лікарські рослини, дикорослі та культивовані, зважаючи на багатий біохімічний склад, їхню здатність швидко включатись до метаболічних процесів в організмі людини, практично невичерпні ресурси. Дієтичні добавки повинні відзначатись високою якістю, ефективністю і повною безпекою для споживачів. Тому при їх розробленні необхідно орієнтуватись на медичні рекомендації щодо рівнів споживання для певних категорій населення. Саме за таких умов дієтичні добавки знайдуть своє належне місце у системі здорового харчування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Пилат Т.Л.* Основные принципы фармаконутрициологии (биологически активные добавки к пище) / Т.Л. Пилат и др. — Астана — Алматы — Шымкент : Изд-во Южно-Казахстанской гос. мед. академии, 2001. — 312 с.
2. *Рисман М.* Биологически активные пищевые добавки : неизвестное об известном / М. Рисман ; пер. с англ. М.А. Новицкой, А.М. Славиной. — М. : Арт-Бизнес-Центр, 1998. — 489 с.
3. Гігієна харчування з основами нутриціології : підручник / В.І. Ципріян та ін. — К. : Здоров'я, 2007. — 565 с.
4. *Капрельянц Л.В.* Функціональні продукти : монографія / Л.В. Капрельянц, К.Г. Юргачова. — О. : Друк, 2013. — 312 с.

5. Фармацевтична енциклопедія / голова ред. ради та автор передмови В.П. Черних ; Нац. фармац. ін-т України. — 2-ге вид., переробл. і доповн. — К. : МОПЮН, 2010. — 1632 с.
6. *Humphrey G.R.* Practical Methodologies for the Synthesis of Indoles / G.R. Humphrey, J.T. Kuethe. — In : Chem. Rev. — 106 (7). 2006. — P. 2875.
7. *Курченко А.І.* Роль екзогенних пептидів у відновленні повноцінної імунної відповіді в умовах вторинного імунодефіциту / А.І. Курченко, В.А. Бенюк, Г.П. Потєбня та ін. // Здоровье женщины. — 2017. — № 1(117). — С. 89—97.
8. *Зубар Н.М.* Основи фізіології та гігієни харчування : підручник / Н.М. Зубар. — К. : Вид-во КНТЕУ, 2006. — 341 с.
9. *Grotewold E.* The Science of Flavonoids / Erich Grotewold. Springer ; The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 2006. — 274 p.
10. *Аткинс Р.* Биодобавки доктора Аткинса. Природная альтернатива лекарствам при лечении и профилактике болезней / Р. Аткинс ; пер. с англ. А.П. Киселева. — М. : РИПОЛ-Классик, 1999. — 480 с.
11. *Тутельян В.А.* Безопасность и эффективность биологически активных веществ растительного происхождения / В.А. Тутельян, Ю.Б. Белоусов, К.Г. Гурвич. — Новосибирск : Эквор-книга, 2007. — 316 с.
12. *Осейко М.І.* Функціональний продукт у концепції ендекології здоров'я / М.І. Осейко, Т.І. Романовська, В.І. Шевчик // Наукові праці НУХТ. — 2017. — № 3. — С. 192—203.
13. *Башта А.О.* Отримання халви оздоровчого призначення / А.О. Башта, Г.Я. Манзіроха // Харчова промисловість. — 2016. — № 19. — С. 19—25.
14. *Формазюк В.И.* Энциклопедия пищевых лекарственных растений / В.И. Формазюк. — К. : А. С. К., 2003. — 792 с.

## ДИЕТИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И МЕСТО В СИСТЕМЕ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

Г.А. Симахина, Н.В. Науменко

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье под разными углами зрения (технологическим, социально-экономическим, терминологическим) рассмотрены проблемы создания и конструирования новых диетических добавок, намечаются перспективы изучения различных пищевых веществ (в частности минорных) с целью их дальнейшего применения в технологиях оздоровительных продуктов нового поколения. Должное внимание уделено также лекарственным растениям как потенциальным источникам биофлавоноидов, витаминов и других биологически активных веществ.*

**Ключевые слова:** диетические добавки, качество, безопасность, оздоровительное питание, биологически активные вещества, пищевое сырье.

УДК: 664+547.458

## ISOMALTOOLIGOSACCHARIDES IN FOOD TECHNOLOGIES

M. Polumbryk, Ch. Omelchenko, V. Ischenko, V. Kostyuk, O. Polumbryk  
National University of Food Tehnologies

---

**Key words:**

isomaltooligosaccharides,  
prebiotics,  
sweeteners,  
bulking agents,  
food fibers.

---

**Article history:**

Received 24.05.2017  
Received in revised form  
15.06.2017  
Accepted 10.09.2017

---

**Corresponding author:**

tmipt\_xp@ukr.net

---

---

**ABSTRACT**

The methods of preparation, properties and utilization of isomaltooligosaccharides (IOS) in food technologies have been discussed. IOS inclusion into the food products helps to improve small intestine microflora as well as decrease glucose level in blood plasma, retard caries and have positive impact on health humans. IOS intake has improved immune function, can cause rise of microelements absorption, for example magnesium, that resulting the significant increase of bones density as well as decrease risk of the anemia. IOS can increase storage time of confectionary products due to unique water binding ability. The technological features of the IOS as sweeteners, bulking agents, humectants and food fibers were discussed. The results of IOS studies can be used in the medical and cosmetic industry and in development of a new range of functional food products.

---

## ІЗОМАЛЬТООЛІГОСАХАРИДИ В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

М.О. Полумбрик

Х.В. Омельченко

В.М. Іщенко

В.С. Костюк

О.М. Полумбрик

Національний університет харчових технологій

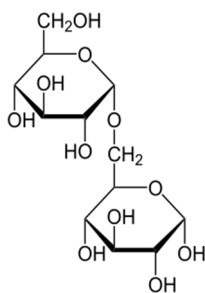
*У статті розглянуто отримання, властивості і використання ізомальтоолігосахаридів (ІОС) у харчових технологіях. Включення ізомальтоолігосахаридів до складу харчових продуктів поліпшує кишкову мікрофлору, зменшує рівень цукру в крові, перешкоджає розвитку карієсу і позитивно впливає на здоров'я людини. Отримані результати вивчення ІОС можуть бути використані для одержання медичних і косметичних препаратів, а також нових функціональних харчових продуктів.*

**Ключові слова:** ізомальтоолігосахариди, цукрозамінники, структуроутворювачі, пребіотики, харчові волокна.

**Постановка проблеми.** Ізомальтоолігосахариди, як і більш поширені ксило-, фрукто-, галактоолігосахариди, володіють комплексом унікальних технологічних і фізіологічних властивостей. Ці олігосахариди, що повністю не розщеплюються (ОНР) ферментами кишково-шлункового тракту організму людини, покращують її здоров'я шляхом модифікації кишкової мікрофлори, зменшуючи вміст токсичних метаболітів і патогенних мікроорганізмів, захисної дії проти інфекцій в шлунково-кишковому, дихальному та сечостатевому трактах, знижують рН кишечника, збільшують адсорбцію мінеральних речовин, інгібують діарею, запобігають закрепу тощо. Завдяки цим властивостям ОНР знайшли широке застосування в харчових технологіях [1].

**Мета дослідження:** аналіз властивостей і використання ізомальтоолігосахаридів у харчовій промисловості.

**Теоретична частина.** Ізомальтоолігосахариди (ІОС) являють собою олігосахариди, що складаються із фрагментів глюкози, сполучених між собою  $\alpha$ -1,6- (і, незначною мірою,  $\alpha$ -1,4-)-глікозидними зв'язками. Основними складовими ІОС є ізомальтоза ( $\text{ІОС}_2$ , рис.1), ізомальтотріоза ( $\text{ІОС}_3$ ) і паноза ( $\text{ІОС}_4$ ). Інші олігосахариди з ізомальтоструктурним фрагментом містять також  $\alpha$ -1,2-, чи  $\alpha$ -1,3-глікозидні зв'язки і володіють комплексом різноманітних властивостей. Ці сполуки утворюються за рахунок дії штамів мікроорганізмів *Zeuconastoc mesenteroides* NRRL-1299, *Streptococcus mutans* 6S 5 [2,3]. Поліол ізомальт є продуктом каталітичного відновлення олігосахариду ізомальтози.



**Рис. 1. Структурна формула ізомальтози**

Доведено, що вживання ІОС поліпшує кишкову мікрофлору і як замітник цукру запобігає розвитку цукрового діабету. Ізомальтоолігосахариди метаболізуються кишковими бактеріями, зокрема біфідобактеріями. Вживання пацієнтами 10 г на добу  $\text{ІОС}_2$  чи 5 г на добу  $\text{ІОС}_3$  протягом 12 днів призводить до суттєвого зростання кількості біфідобактерій [2]. Клінічними дослідженнями показано, що вживання літніми чоловіками ІОС суттєво підвищує мікробіологічну ферментацію в кишечнику і його рухомість, випорожнення без будь-яких небажаних побічних ефектів [4].

Вживання ІОС також гальмує розвиток карієсу [2; 5]. Штами мікроорганізмів *Streptococcus mutans* сприяють розвитку карієсу, оскільки глюкансахарази, які продукують ці мікроорганізми, трансформують сахарозу у водорозчинні глюкани, зв'язуються з поверхнею зубів і сприяють подальшій дії цих мікроорганізмів. ОНР, зокрема ізомальтоолігосахариди гальмують синтез глюканів і таким чином суттєво інгібують розвиток карієсу [2].

Іншим позитивним ефектом вживання ІОС є збільшення засвоюваності мікроелементів, зокрема магнію, що сприяє зростанню щільності кісток, а також суттєво зменшує ризик виникнення анемії. Отримані докази, що вживання ІОС посилює імунну функцію організму людини [2].

ІОС, які є сумішшю олігосахаридів, виробляються в Японії з 1985 року кількома компаніями, зокрема Showa Sangyo, Nihon Shokuhin Kakao, Nik nen Kagaku, Hayashibara. Ці сполуки інколи називають «суміші олігосахаридів з аномальними зв'язками» [2].

#### *Отримання ізомальтоолігосахаридів*

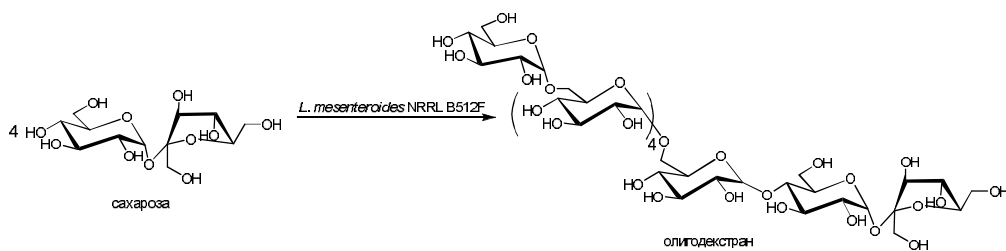
ІОС утворюються внаслідок ферментативної реакції, в якій вихідним матеріалом є крохмаль [2; 3; 6]. Спочатку крохмаль гідролізують за допомогою  $\alpha$ -

амілази і пулулани до мальтоолігосахаридів. Потім до реакційної суміші при-бавляють  $\alpha$ -глюкозидазу для конвертування  $\alpha$ -1,4-зв'язків мальтоолігосахаридів у  $\alpha$ -1,6-зв'язки ІОС [2; 3]. Глюкоза, що утворюється внаслідок реакції, вилу-чається із реакційної суміші, що підвищує вихід продукту. Застосування  $\alpha$ -транс-глюкозидази, джерелом якої є мікроорганізми *A. niger*, каталізує утворення ізомальтози з мальтози, яка міститься в крохмальному гідролізаті, панози та інших олігосахаридів з великим ступенем полімеризації. Мальтоза в даному випадку слугує як донором, так і акцептором глікозила [2; 3].

Пізніше було запропоновано дещо модифікований метод отримання з крохмалю ІОС, що містять один чи кілька  $\alpha$ -1,6 глікозидних зв'язків. Цей метод заснований на проведенні реакції трансглікозилювання із застосуванням неопулулани [3]. Сахарифікуюча  $\alpha$ -амілаза, джерелом якої слугує *B. subtilis*, при одночасному застосуванні неопулулани дає змогу підвищити вихід ІОС з 45 до 60% [3]. Неопулулана і  $\alpha$ -амілаза вносяться в 30-відсоткову крохмальну суспензію та інкубуються протягом 92 годин при температурі 58 °С. Отриманий сироп містить ізомальтозу, ізопанозу, панозу, а також 6- $\theta$ - $\alpha$ -мальтозил-мальтозу та інші ІОС. У цьому спрощеному методі замість чотирьох ферментів викорис-товуються лише два.

Застосування фермента цикло-ізомальтоолігосахарид-глюканотрансфе-рази (цітази) дає змогу провести конверсію декстранів [7]. У результаті реакції циклі-зації утворюється три циклічних ІОС (циклмальто-гептаоза,-октаоза і наонаоза) із загальним виходом близько 20%.

Іншим способом отримання ІОС є мікробний синтез специфічних олігодек-странів. Олігодекстри — загальний термін сумішей вуглеводів, отриманих із декстрану. Вони містять ІОС, а також відносно низькомолекулярні (< 70 кДа) декстрини. В промислових масштабах їх отримують як шляхом кислотного гід-ролізу декстранів, так і прямою дією декстрансахарази. Декстрини, які отримані за допомогою *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B 512 F, містять 95%  $\alpha$ -1,6-гліко-зидних зв'язків (рис. 2). Продуктами синтезу також є ІОС, що містять незначну (до 5%) кількість глікозидних  $\alpha$ -1,3 зв'язків [3].



**Рис. 2.** Схема синтезу олігодекстрана із сахарози за допомогою мікроорганізмів *Leuconostoc mesenteroides*

Гулас і співавтори вивчили синтез ІОС із сахарози шляхом комбінованої дії декстрансахарази, джерелом якої є *Leuconostoc mesenteroides*, і декстранази з *P. lilacinum* [8]. Декстрансахараза каталізує утворення декстрану, молекулярна маса якого контролюється дією декстранази. В такій системі утворюється суміш високомолекулярних вуглеводів, ступінь полімеризації яких знаходиться в межах від 10 до 60. Зміна співвідношення ферментів дає змогу отримати суміш продуктів із заданим ступенем полімеризації.

Суміш нерозщеплених ІОС утворюється внаслідок дії декстрансахарази, джерелом якої слугують мікроорганізми *Leuconostoc mesenteroides* NRRL-1299 [2]. При цьому накопичуються декстрини, зв'язані між собою за допомогою  $\alpha$ -1,2 зв'язків. При дії цієї специфічної глікозилтрансферази за наявності мальтози як акцептора і сахарози як донора глікозила утворюються  $\alpha$ -D-глюкоолігосахариди, що містять крім  $\alpha$ -1,6-глікозидних зв'язків також  $\alpha$ -1,2 глікозидні зв'язки в їх невідновлюваному закінченні і фрагмент мальтози у відновлювальному. Наявність  $\alpha$ -1,2 зв'язків призводить до суттєвого збільшення стійкості олігосахаридів до атак травних ферментів тварин і людини. Тому  $\alpha$ -D-глюкоолігосахариди використовують у харчових продуктах як низькокалорійні цукрозамінники в комбінації з підсолоджувачами, що мають інтенсивно солодкий смак [2]. Ці олігосахариди не засвоюються корисною мікрофлорою кишечника, що є характерною рисою  $\alpha$ -D-глюкоолігосахаридів. Вони не біфідогенні, але сприяють зростанню целюлолітичної мікрофлори кишечника. До того ж вони індукують ширший спектр гліколітичних ферментів, ніж ксило- чи фруктоолігосахариди, без будь-якого суттєвого газоутворення і не мають побічних ефектів.

#### *Застосування ІОС у харчових продуктах*

ІОС ще не знайшли такого широкого розповсюдження в харчових продуктах як ксило-, фрукто- чи галактоолігосахариди. На сьогодні їх застосовують в хлібобулочних виробках, майонезі, мармеладах, джемах, кондитерських виробках (шоколад, цукерки, кекси, жувальні гумки, печиво), в м'ясних виробках (шинках, сосисках), консервованих продуктах, напоях (лимонад, кола) та інших виробках. ІОС також застосовують як добавки до кормів для сільськогосподарських і свійських тварин [11].

ІОС, як і інші олігосахариди, що не засвоюються організмом людини, використовують у технологіях хлібопекарських і борошняних кондитерських виробів. Вміст їх має контролюватися, оскільки включення великої кількості олігосахаридів у крохмалевмісні продукти призводить до змін реологічних характеристик крохмальних дисперсій у процесах клейстеризації і ретроградації, що обумовлює зміни текстури кінцевих виробів [9]. Основною причиною черствіння хлібопекарських і борошняних кондитерських виробів є ретроградація амілопектина, що визначається впливом на амілозну фракцію в процесі клейстеризації [9]. Тому вивчення взаємодії олігосахаридів і крохмалю та її впливу на реологічні характеристики є актуальним завданням для розробки продуктів із заданими властивостями.

Ванг і співавтори дослідили вплив різних ОНЗ на клейстеризацію крохмалю воскоподібної кукурудзи [9]. Введення цих олігосахаридів у кількості 125 г/кг призводить до підвищення температури початку (на 2—4° С) і практично не змінює значення температури закінчення клейстеризації. Це пояснюється гідратацією ОНР, які зменшують кількість вільної води, необхідної для клейстеризації. Ізомальтоолігосахариди більшою мірою, ніж фрукто- чи ксилоолігосахариди підвищують температуру початку клейстеризації, що, на думку авторів, пов'язано з їх здатністю утворювати більш стійкі гідрати. Відмічено залежність зміни температур фазових переходів, обумовлених впливом олігосахаридів, від вмісту амілози в крохмалі [9].

**Результати досліджень.** Властивість ІОС поліпшувати кишкову мікрофлору, стимулюючи зростання популяції біфідо- і лактобактерій, обумовлює використання цих олігосахаридів у функціональних харчових продуктах. У табл. 1 наведений вміст інгредієнтів у рецептурі тіста, що застосовується у виробництві сендвічподібного морозива [12].



Таблиця 1. Рецептūra тіста для морозива, яке містить ІОС [12]

Інгредієнт	Кількість, %
Борошно	62
Цукор	15
ІОС Panofich	10
Какао порошок	3,5
Жир	8
Емульгатор	0,4
Солодовий екстракт	0,5
Пекарський порошок	0,4
Сіль	0,1
Ванільний ароматизатор	0,1

Вживання такого морозива покращує метаболізм ліпідів, сприяє засвоєнню кальцію і зменшує ризики виникнення онкологічних захворювань. Відомо, що споживання великої кількості м'яса призводить до розвитку онкологічних хвороб, особливо стравоходу, печінки і товстої кишки. Це пов'язано насамперед з утворенням низки гетероциклічних амінів [13]. Добавка харчових волокон, зокрема ОНР до м'яса, є простим і дешевим способом зменшення кількості гетероциклічних амінів у продуктах його переробки. Крім того, добавка цих вуглеводів дає змогу поліпшити смак і аромат, поглибити м'якість і соковитість виробів, а також зменшити втрати під час обробки [13]. Внесення ОНР, таких як ІОС, ксилі-, фрукто- чи галактоолігосахариди в кількості 1,5% до яловичих гамбургерів, які були обсмажені при температурі 225° С протягом 10 хвилин, призводить до зменшення концентрації основних гетероциклічних амінів на 46-54% [14]. Інгібування утворення цих гетероциклічних сполук пов'язане насамперед з гідратаційними властивостями олігосахаридів, що не засвоюються організмом людини.

Крім власне ІОС, окремо розглядаються глюкоолігосахариди, що мають специфічні властивості. Вони ще мало застосовуються в харчових технологіях, але спектр їх потенційного використання доволі різноманітний. Пребіотичний ефект  $\alpha$ -D-глюкоолігосахаридів продемонстрований на прикладі корму для курчат, поросят, телят. Так, добавка 0,15%  $\alpha$ -D-глюкоолігосахаридів до корму молодих телят призвела до зменшення на 20% ветеринарних витрат [11].

**Висновки.** Ізомальтоолігосахариди в харчових продуктах слугують ефективними цукрозамінниками, структуроутворювачами, вологоутримуючими агентами. На відміну від інших олігосахаридів, що застосовуються як цукрозамінники в суміші з підсолоджувачами, що мають інтенсивно солодкий смак, ізомальтоолігосахариди внаслідок високої термостабільності, інтенсивності солодкого смаку (40—50% сахарози) і вологоутримуючої здатності можуть самостійно використовуватись для виробництва продуктів із зниженими калорійністю і глікемічним індексом.

Вживання харчових продуктів з ІОС (до 10г на добу) значно посилює імунну систему організму, поліпшує кишкову мікрофлору, зменшує рівень цукру у крові, збільшує засвоюваність мікроелементів і загалом позитивно впливає на здоров'я людини.

Ізомальтоолігосахариди застосовуються також у виробництві медичних (зокрема для профілактики шлунково-кишкових захворювань) і косметичних препаратів (зубній пасті, губній помаді, пігулках) та інших виробках.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Полумбрик М.О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / М.О. Полумбрик. — К.: Академперіодика, 2011. — 487 с.
2. Eggleston G. Oligosaccharides in Food and Agriculture. / G. Eggleston Am. Chem. Soc.: Washington, DC, 2003. — 264 p.
3. Prebiotics: Development and Application. Ed. By G.R. Gibson and R.A. Rastall. — 2006. J. Willy&Sons Ltd. — 256 p.
4. Chen H.L. Effects of isomaltooligosaccharides on bowel functions and indicators of nutritional status in constipated elderly men // Chen H.L., Lu Y.H., Lin J.Jr. et. al. — J. Am. College Nutr. — 2001. — V. 20. — P. 44—49.
5. Hamada S. Role of sweeteners in the etiology and prevention of dental caries // S. Hamada Pure Appl. Chem., — 2002. — V. 74. — P. 1293—1300.
6. Lee H.S. Cooperative action of  $\alpha$ -glucanotransferase and maltogenic amylase for an improved process of isomaltooligosaccharide (IMO) production // H.S. Lee, J.H. Auh, H.G. Yoon et.al. — J. Agric. Food Chem. — 2002. — V. 50. — P. 2812—2817.
7. Oguma T. Purification and properties of a novel enzyme from *Bacillus* spp. T—3040, which catalyzes the conversion of dextran to cyclic isomaltooligosaccharides // T. Oguma, K. Tobe, M. Kobayaski. / FEBS lett. — 1994. — V. 345. — P. 135—138.
8. Goulas A.K. Synthesis of isomaltooligosaccharides and oligodextrans by the combines use of dextransucrase // A.K. Goulas, D.A. Fischer, G.K. Grimble et.al. Enzyme Microbiol. / Technol. — 2004. — V. 35. — P. 327—338.
9. Lai P. Effects of oligosaccharides on phase transition temperature and rheological characteristics of waxy rice starch dispersion // P. Lai, C. Shian. C. Wang. / J. Sci. Food Agric. — 2012. — V. 92. — P. 1389—1394.
10. Persson E. Addition of various carbohydrates to beef burgers affects the formation of heterocyclic amines during frying // E. Persson, I. Sjöholm, M. Nyman et.al. / J. Agric. Food Chem. — 2004. — V. 52.— P. 7561—7566.
11. Biotechnology in animal feeds and feeding. Edited by Wallace R.C., Chesson A. / VCH. Weinheim. — 2005. — P. 233—245.
12. U.S. Patent 6399124 B1. — Frozen dessert containing lactic acid bacteria. Nestee S.A. (США). C.Zessen, J.M. Pfeifer, F. Rochat. 4.06.2002.
13. Butler L.M. Heterocyclic amines, meat intake, and association with colon cancer in a population-based study // L.M. Butler, R. Sinha, R.C. Millikan et.al / Am. J. Epidemiol. — 2003. — V. 157. — P. 434—445.
14. Shin H.S. Influence of different oligosaccharides and inulin on heterocyclic aromatic amine formation and overall mutagenicity in fried ground beef patties // H.S. Shin, H. Park, D. Park / J. Agric. Food Chem. — 2003. — V. 51. — P. 6726—6730.

## **ИЗОМАЛЬТООЛИГОСАХАРИДЫ В ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

**М.О. Полумбрик, Х.В. Омельченко, В.Н. Ищенко, В.С. Костюк, О.М. Полумбрик**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассмотрены получение, свойства и использование изомальтоолигосахаридов (ИОС) в пищевых технологиях. Включение изомальтоолигосахаридов в состав пищевых продуктов улучшает кишечную микрофлору, снижает уровень сахара в крови, препятствует развитию кариеса и положительно влияет на здоровье человека. Полученные результаты изучения ИОС могут быть использованы для получения медицинских и косметических препаратов, а также новых функциональных пищевых продуктов.*

**Ключевые слова:** *изомальтоолигосахариды, сахарозаменители, структурообразователи, пребиотики, пищевые волокна.*

УДК 637.5:574.2

## BLACK CURRANT EXTRACT IN THE TECHNOLOGY OF MEAT-CONTAINING COOKED SAUSAGES WITH POULTRY

**N. Bozhko, V. Tischenko***Sumy National Agrarian University***V. Pasichnyi***National University of Food Technologies***Key words:**

black currant extract,  
duck,  
meat-containing cooked  
sausage,  
lipid oxidation,  
antioxidants,  
acid number,  
peroxide number

**Article history:**

Received 24.03.2017  
Received in revised form  
15.04.2017  
Accepted 10.05.2017

**Corresponding author:**

pasww1@ukr.net

**ABSTRACT**

The article is devoted to the efficiency of extract of black currant in the technology of meat-containing cooked sausages with Peking duck meat and Turkey meat mechanically separated. The article presents the results of research of influence of black currant extract on the occurrence of oxidative processes in meat-containing boiled sausages with meat Peking duck and poultry meat mechanically separated with a fat content above 20%. Black currant extract was added to minced meat in the amount of 0.01%, 0.02%, 0.03% by weight of meat. The use of black currant extract in technology of meat-containing cooked sausage can slow the processes of oxidative damage to the lipids of cooked sausages. The most effective concentration of the drug was black currant extract in the amount of 0.01%. Introduction black currant extract in the amount of 0.1—0.3% doesn't impair the organoleptic characteristics of cooked sausages. Researching the microbiological safety of the resulting product confirmed its compliance with state standards.

## ЕКСТРАКТ ЧОРНОЇ СМОРОДИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯСОМІСТКИХ ВАРЕНИХ КОВБАС З М'ЯСОМ ПТИЦІ

**Н.В. Божко, канд.с-г.наук****В.В. Тищенко, канд.с-г.наук***Сумський національний аграрний університет***В.М. Пасічний, д-р.техн.наук***Національний університет харчових технологій*

*У статті наведені результати дослідження впливу екстракту чорної смородини на перебіг окислювальних процесів у м'ясомісткій вареній ковбасі з м'ясом качки Пекінської та мяса птиці механічного обвалювання індичим з вмістом жиру вище 20%. Екстракт чорної смородини додавали до фаршу в кількості 0,01%, 0,02%, 0,03% до маси фаршу. Встановлено, що використання екстракту чорної смородини в технології м'ясомісткої вареної ковбаси уповільнює процеси окислювального псування ліпідів варених ковбас. Найбільш ефективною концентрацією препарату виявився екстракт чорної смородини у кількості 0,01%. Встановлено, що внесення екстракту чорної смородини в кількості 0,1—0,3% не погіршує органолептичні показники варених ковбас. Дослідження мікробіологічної безпеки отриманої продукції підтвердило її відповідність державним стандартам.*

**Ключові слова:** екстракт чорної смородини, м'ясо качки, м'ясомістка варена ковбаса, окислення ліпідів, антиоксиданти, кислотне число, перекисне число.

**Постановка проблеми.** Більшість м'ясних і м'ясомістких продуктів відносяться до емульгованих м'ясопродуктів, структура яких може відрізнятися наявністю повітряних порожнин, які інтенсифікують окиснення всередині продукту під дією кисню повітря. Окислювальні процеси впливають на якість готового продукту, сприяють втраті кольору, смаку, запаху і скорочують термін його придатності. Під час окислення жирів утворюються різноманітні продукти розпаду — вільні кислоти, зокрема їх трансізомери, кисневмісні похідні, альдегіди, кетони, перекиси, багато з яких є токсичними речовинами. Найбільш поширеним шляхом вирішення проблеми окиснювального псування м'ясопродуктів є застосування різноманітних антиокислювальних харчових добавок, що цілеспрямовано регулюють процеси окиснення ліпідної фракції м'ясних систем [1; 2; 9; 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З розвитком сучасних технологій світове суспільство переорієнтовується на новий рівень сприйняття м'ясної продукції. Основними напрямками розвитку і трендами сучасної світової м'ясопереробної індустрії є виробництво екологічно безпечних продуктів з мінімізованим вмістом харчових добавок. І саме тому зараз ведеться інтенсивний пошук препаратів природного походження, які не тільки зберігають продукт від різних видів псування, в тому числі окиснювального, але і є додатковими цінними факторами харчування. Особливо перспективними компонентами для використання як біопротекторів, так і консервантів є різні біологічно активні речовини та їх комплекси, які застосовують для виробництва найбільш перспективних видів м'ясної сировини, зокрема м'яса птиці [1; 7; 9; 11].

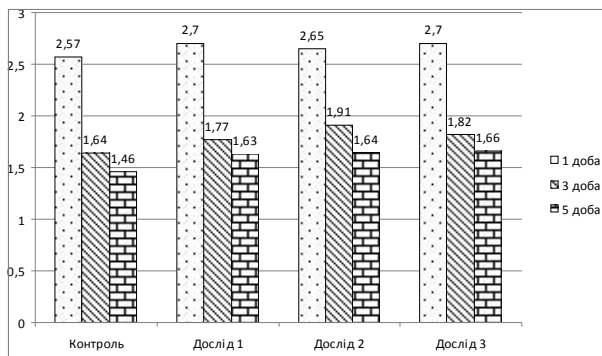
Дослідження ведуться в декількох напрямках. Відомо багато праць, присвячених екстрактам лікарських рослин, кори дубу, добавкам з плодів обліпихи та вільхи, дигідрокверцетину, екстракту розторопші тощо, які уповільнюють гідролітичні й окиснювальні процеси в м'ясних продуктах. Антиоксидантна ефективність даних екстрактів пояснюється особливостями хімічного складу і концентрацією біологічно активних речовин, а саме: високим сумарним вмістом фенольних сполук, дубильних речовин і вільних органічних кислот [3—6; 9]. Одним із перспективних антиоксидантних препаратів для м'ясної промисловості може слугувати екстракт чорної смородини.

**Метою статті:** дослідження ефективності використання екстракту чорної смородини як антиоксидантного препарату в технології м'ясомісткої вареної ковбаси з м'яса качки Пекінської та м'яса птиці механічного обвалювання (МПМО) з індичатини.

**Матеріали і методи.** Як дослідні зразки використовували м'ясомістку ковбасу «Качину» із вмістом жиру більше 20% [7].

Як антиокислювальний препарат використовували екстракт чорної смородини (Україна). До дослідних зразків ковбаси на стадії приготування фаршу додавали екстракт чорної смородини в трьох концентраціях: 0,01%, 0,02%, 0,03% до маси сировини, контролем слугував зразок ковбаси без додавання антиоксидантного препарату. Зберігали модельні зразки при температурі 4° С впродовж 5 діб. Контрольованими показниками були кислотне (КЧ) та пероксидне (ПЧ) числа, які визначали через 1, 3 та 5 діб зберігання, мікробіологічні показники в кінці терміну зберігання [8].

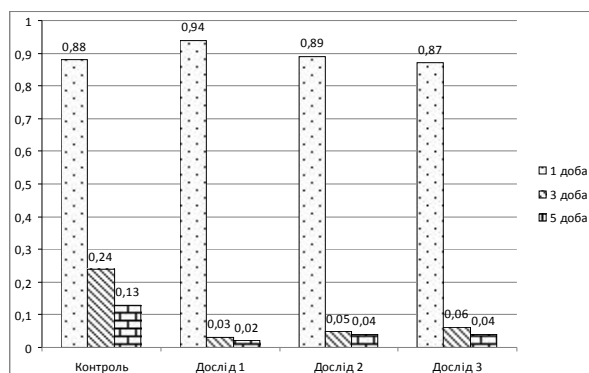
**Результати досліджень.** Результати дослідження динаміки кислотного числа дослідних зразків ковбас у процесі зберігання представлені на рис. 1.



**Рис. 1.** Динаміка кислотного числа дослідних зразків ковбас у процесі зберігання, мг КОН

Аналіз зміни кислотного числа показує, що додавання до фаршу екстракту чорної смородини істотно не впливає на процес гідролізу ліпідів під час зберігання. Так, показник кислотного числа на 5 добу зберігання в контрольному та дослідних зразках був практично однаковий і коливав в межах 1,46—1,66. Слід відмітити, що гідролітичні процеси в тригліцеридах впродовж досліджуваного періоду не були інтенсивними.

Результати дослідження динаміки перекисного числа в процесі зберігання готових ковбасних виробів представлені на рис. 2.



**Рис. 2.** Значення перекисного числа дослідних зразків ковбас у процесі зберігання, J%

Отримані результати показали, що екстракт чорної смородини у всіх трьох концентраціях сповільнював окисні процеси. Найбільшу стабілізуючу дію мав екстракт чорної смородини в концентрації 0,01%: перекисне число в цьому зразку в кінці досліджуваного терміну дорівнювало 0,02% $J_2$ , тоді як у контролі цей показник становив 0,13% $J_2$ , що в 6,5 раза вище.

Актуальним питанням застосування біопрепаратів природного походження антиокислювальної дії є їх вплив на органолептичні показники продукту, адже більшість біофлавоноїдів мають виражене забарвлення різних відтінків. Результати сенсорної оцінки виготовлених ковбас з м'ясом качки Пекінської і МПМО представлені на рис. 3.

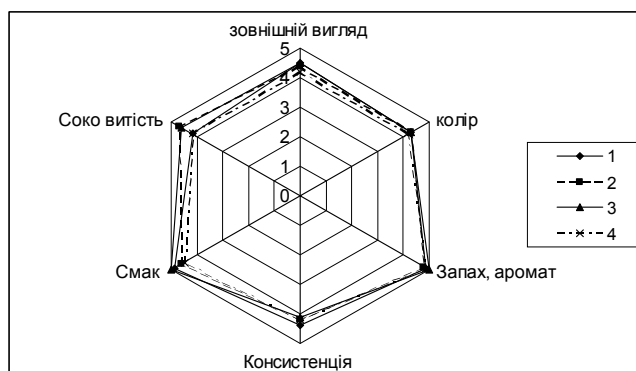


Рис. 3. Сенсорна характеристика дослідних зразків

Дані діаграми сенсорних показників ковбас з різним вмістом екстракту чорної смородини свідчать про те, що всі зразки ковбас із антиоксидантами відповідають вимогам стандарту за органолептичними показниками.

Слід відмітити, що дослідні зразки характеризувались приємним запахом, мали гарні смакові властивості і пружну консистенцію. Високу оцінку отримали всі показники якості м'ясомістких варених ковбас із м'ясом качки Пекінської та МПМО індичого із внесенням екстракту чорної смородини.

Результати мікробіологічних досліджень дослідних зразків продукту представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Мікробіологічні показники дослідних зразків м'ясомісткої вареної ковбаси «Качиної» з екстрактом чорної смородини

Показник	МАФАНМ, КУО, 1 г	БГКП, КУО, в 1 г	S.aureus в 1,0	Бактерії роду <i>Proteus</i>	Патогенні мікроорганізми, в т.ч. <i>Salmonella</i>
Контроль	$2,48 \times 10^3$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Зразок № 1	$2,08 \times 10^3$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Зразок № 2	$2,46 \times 10^3$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Зразок № 3	$1,52 \times 10^3$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Аналізуючи дані таблиці, можемо зробити висновок, що дослідні зразки м'ясомісткої вареної ковбаси з внесенням екстракту чорної смородини є цілком безпечними з мікробіологічної точки зору. Рекомендований термін зберігання готової продукції 5 діб.

**Висновки.** Аналіз результатів свідчить, що використання екстракту чорної смородини в технології м'ясомісткої вареної ковбаси на основі м'яса птиці дає змогу уповільнити перебіг окислювального псування ліпідів варених ковбас. Найбільш ефективною концентрацією препарату виявився екстракт чорної смородини у кількості 0,01%. Сенсорна оцінка показала, що внесення екстракту чорної смородини в кількості 0,1—0,3% не погіршує органолептичні показники варених ковбас. Дослідження мікробіологічної безпеки отриманої продукції підтвердило її відповідність державним стандартам.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пасічний В.М. Перспектива натуральних антиоксидантів для використання в м'ясопереробній галузі / Пасічний В.М., Желуденко Ю.В.// Збірник наукових праць ХДУХТ. — Харків : ХДУХТ, 2014. — С. 264—276.

2. Antioxidants in food and food antioxidants / V.M. Pasichniy, Ch.V. Omelchenko, M.O. Polumbryk, M.V. Kirikova // Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції: програма та матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції, 24—25 березня 2015 року. — К. : НУХТ, 2015. — С. 17—18.

3. Толкунова Н.Н. Влияние растительных экстрактов на окислительные процессы в паштете [Текст] / Н.Н. Толкунова, А.Я. Бидюк // Мясная индустрия. — 2002. — № 7. — С. 26—27.

4. Самозвон О.Н. Изучение возможностей применения добавки из плодов ольхи в качестве антиоксиданта при производстве мясных фаршей [Текст] / О.Н. Самозвон, Н.Г. Бондаренко, А.К. Пивовар, Ю.В. Никитченко // Луганський національний аграрний університет: зб. наук. пр. — Луганськ, 2008. — № 87. — С. 194—205.

5. Токаев Е.С. Использование дигидрокверцетина в качестве натурального антиокислителя [Текст] / Е.С. Токаев, Р.А. Новаков, П.С. Дегтярев // Мясная индустрия. — 2003. — № 10. — С. 27—28.

6. Плотников Е.Е. Растительные антиоксиданты в производстве мясных изделий [Текст] / Е.Е. Плотников, Г. В. Глазова и др. // Мясная индустрия. — 2010. — № 7. — С. 26—28.

7. Божко Н.В. М'ясомісткі варені ковбаси з використанням м'яса качки. / Н.В. Божко, В.М. Пасічний, В.В. Бордунова. // Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З.Гжицького. Серія «Харчові технології». — Т. 18, № 2(68). — Львів, 2016. — С.143—147.

8. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. — М. : Колос, 2001. — 576 с.

9. Ukrainets A. Oleoresins effect on cooked poultry sausages microbiological stability / A.I. Ukrainets, V. Pasichniy, Yu. Zheludenko, S. Zadkova // Ukrainian Food Journal. — 2016. — Volume 5, Issue 1. — С. 124—134.

10. Ukrainets A. Plant extracts antioxidant properties for meat processing industry / A.I. Українець, В.М. Пасічний, Ю.В. Желуденко // Biotechnology Acta. — 2016. — Т. 9. — № 2. — С. 19—27.

11. Українець А.І. Обґрунтування термінів зберігання варених ковбасних виробів з м'ясом курчат бройлерів / А.І. Українець, В.М. Пасічний, Ю.В. Желуденко, С.П. Задкова // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. — Т. 22, № 5. — С. 230—237.

## ЭКСТРАКТ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ В ТЕХНОЛОГИИ МЯСОСОДЕРЖАЩИХ ВАРЕННЫХ КОЛБАС С МЯСОМ ПТИЦЫ

**Н.В. Божко, В.И. Тищенко**

*Сумской национальной аграрный университет*

**В.Н. Пасечный**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье приведены результаты исследования влияния экстракта черной смородины на протекание окислительных процессов в мясосодержащей вареной колбасе с мясом утки Пекинской и мяса птицы механической обвалки индюшиным с содержанием жира выше 20%. Доказано, что использование экстракта черной смородины позволяет замедлить процессы окислительной порчи липидов вареных колбас.*

**Ключевые слова:** *экстракт черной смородины, мясо утки, мясосодержащая вареная колбаса, окисление липидов, антиоксиданты, кислотное число, перекисное число.*

УДК 664.696.2

## TECHNOLOGICAL ASPECTS OF GRAIN POPPING BY MICROWAVE TREATMENT

Yu. Kuyanov, S. Mykolenko

Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University

---

**Key words:**

grain,  
popping,  
microwave treatment,  
pericarp,  
endosperm,  
microwave energy  
concentrators.

**Article history:**

Received 23.09.2017

Received in revised

form 20.10.2017

Accepted 05.11.2017

**Corresponding author:**

svetlana.mykolenko  
@gmail.com

**ABSTRACT**

This study reveals the role of the anatomical structure of grain, changes of the major chemical components under the influence of microwave radiation when cereals pop. Pericarp and endosperm anatomic features directly impact on the possibility of forming foamy grain structure by thermal or microwave treatment. It is shown that microwave treatment changes starches characteristics, the sensitivity of which to the action of microwave radiation depends on amylose content. Significant factor for efficiency of the process is the moisture content of the grain within the optimal values. The use of salt, fat before microwave treatment allows achieving an increase in the yield and quality of the final product. Particular attention is drawn to the possibility of introducing artificial centers for concentration of microwave energy. Indicators of the processing efficiency as well as the factors determining for the technology are substantiated.

## ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОТРИМАННЯ «ЗІРВАНИХ» ЗЕРЕН НВЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Ю.Ю. Куянов, канд.техн.наук

С.Ю. Миколенко, канд.техн.наук

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

У статті проаналізовано роль анатомічної будови зернівки, зміни основних компонентів хімічного складу під впливом НВЧ-випромінювання. Показано, що мікрохвильова обробка змінює властивості крохмалів, чутливість яких до дії НВЧ-випромінювання залежить від наявності амілози. Застосування солі, жиру перед НВЧ-обробкою дає змогу досягти підвищення виходу і якості кінцевої продукції. Обґрунтовано ряд показників ефективності технологічного процесу і показано фактори, які є визначальними для технології.

**Ключові слова:** зерно, вибух, НВЧ-обробка, перикарпій, ендосперм, концентрати НВЧ-енергії

**Постановка проблеми.** Високою популярністю в Україні і світі серед споживачів все більше користуються продукти, які потребують мінімальної витрати на їх приготування — різноманітні снеки, хрусткі хлібці, зернові батончики. Серед них особливе місце посідають «зірвані» або «повітряні» зерна, з яких найбільш популярним є попкорн, продукт, виготовлений шляхом термічної або НВЧ-обробки лускатої кукурудзи [1]. Відоме отримання «зірваних» зерен не лише з кукурудзи, а й із сорго, пшениці, амаранту, рису, гречки. При цьому у



технологічному процесі можуть бути застосовані різні методи: конвективне нагрівання, нагрівання із жиром, із сіллю, мікрохвильову обробку [2]. Використання НВЧ-полів серед усіх методів є найбільш перспективним, оскільки дає змогу не лише суттєво скоротити технологічний процес, зменшити енергетичні витрати, але й уникнути утворення небажаних побічних продуктів, забезпечуючи отримання продукту з високими органолептичними характеристиками. Теоретичні механізми процесу «зривання» зерна сьогодні знаходяться у центрі уваги науковців, що пов'язано з перспективами впровадження ресурсозберігаючих підходів у харчових технологіях.

**Мета дослідження:** Виявлення механізмів впливу анатомічних частин зернівки, будови її складових, хімічного складу зерна, введення додаткових компонентів для попередньої підготовки сировини на процес отримання «зірваних» зерен і встановлення визначальних факторів впливу НВЧ-обробки на ефективність технологічного процесу.

#### **Результати досліджень.**

*Вплив особливостей анатомічної будови зернівки та її складових на технологічний процес.* Одним із основних показників ефективності процесу отримання попкорну є кількість зерен, які залишаються незірваними. Однією з причин зростання кількості таких включень є втрата вологи, зумовлена властивостями периферійних частин зернівки, особливо перикарпію. Відомо, що перший розрив у плодовій оболонці найбільш суттєво впливає на об'єм «зірваної» зернівки порівняно із будь-якими подальшими розривами [3]. Целюлоза і арабіноксилан є основними структурними компонентами плодової оболонки, що підтверджується результатами рентгенологічного аналізу [4]. A.S. Tandjung зі співавторами встановлено, що під час мікрохвильової обробки структурні зміни целюлози були викликані вмістом вологи і температурним фактором, при цьому значне збільшення кристалічності відбувалось за умови нагрівання перикарпію за наявності води. Тому автори припускають, що саме целюлоза як компонент плодової оболонки зерна кукурудзи відповідає за розвиток екзотермічних процесів і підвищення кристалічності внаслідок мікрохвильової обробки. Таким чином, схильність целюлози до утворення кристалічних структур у перикарпію попкорну під час мікрохвильового нагрівання підвищує утримання вологи і, відповідно, сприяє зростанню якісного показника ефективності отримання «зірваних» зерен кукурудзи.

Отримання «зірваних» зерен можливе з різних видів зернових культур, проте найбільша їх кількість виробляється з кукурудзи [5]. Також до відомих поп-культур відноситься і менш популярне в Україні поп-сорго. Для обох злакових культур у результаті термічної або НВЧ-обробки утворюються збільшені в об'ємі зерна, що складаються з піни — губчастого ендосперму, а також прикріпленої тканини плодової оболонки і зародку. Кожний пухирець піни при цьому утворюється з окремої гранули крохмалю, що розширюється надлишковим внутрішнім тиском пари із середини гранули. За результатами світлової і скануючої електронної мікроскопії виявлено, що клітинні стінки рогової ендосперму як попкорну, так і сорго роздріблені на дрібні фрагменти, які розділяються за напрямом розширення клітини під час розриву зернівки. Але при цьому клітини непрозорого ендосперму зберігають полігональний контур. Перетравлюваність білків і крохмалю *in vitro* «зірваних» зерен сорго є незмінною порівняно з необробленим. На відміну від цього, традиційне варіння сорго

викликає зниження його перетравлюваності. Це пов'язується із руйнуванням клітинних стінок ендосперму під час вибуху з подальшим підвищенням доступності поживних речовин ендосперму дії травних ферментів.

Наявність роговидного ендосперму в структурі зернівки впливає на її здатність збільшення в об'ємі під впливом температурного фактора. Роговидний ендосперм відрізняється від борошністого (рис. 1) відсутністю повітряних проміжків між крохмальними гранулами та сильним зв'язком крохмальних гранул і білка, що їх оточує. Форма крохмальних гранул роговидного ендосперму полігональна, тоді як борошністого — кругла [6]. Роговидний ендосперм наявний в анатомічній структурі зерна кукурудзи, рису, сорго, які належать до відомих поп-культур зернових, проте його кількість суттєво коливається у межах їх різновидів і сортів.

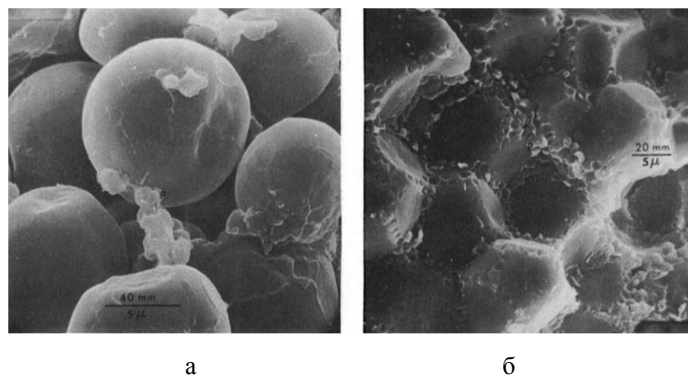
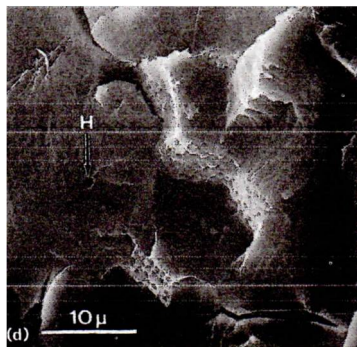


Рис. 1. Мікрофотографії фрагмента борошністого (а) і роговидного (б) ендосперму сорго [6]

Ряд дослідників значну увагу приділяє хілуму (рис. 2), який являє собою мікроскопічну пору в лейкопласті, навколо якої формуються шари запасного крохмалю крохмальної гранули під час формування зернівки рослини. Хілум вважається центром нуклеації та зародження газоподібного ембріона з подальшим його зростанням до більших розмірів [1]. Також пухирці повітря можуть знаходитися у пустотах ендосперму, забезпечуючи додаткове джерело зародження більш крупних повітряних пор. Перед початком вибуху перикарпій трохи набухає, невеликі пухирці повітря з'являються у роговидному ендоспермі і потім зливаються у центральну пору розміром близько 1 мм. Це відбувається тоді, коли тиск пари збільшується у проміжках між крохмальними гранулами непрозорого ендосперму, розділяючи їх одна від одної. Тобто гранули борошняного ендосперму не розширюються і зберігають подвійне променезаломлення, тоді як у прозорому роговидному ендоспермі перегріта вода випаровується у хілум (рис. 2), викликаючи розширення крохмалю і утворення тонкої плівки [3]. Розрив перикарпії відбувається за умови перевищення тиску перегрітої пари всередині зернівки над сумарним тиском розриву плодової оболонки й атмосферного тиску. Для попкорну вологістю 11—15 % такий вибух відбувається при внутрішньому тиску ядра 760—930 кПа, коли температура всередині зернівки сягає 177—185 °С [1; 3]. Під час розривання перикарпії перегріта вода випаровується і швидко дифундує у ділянки зародкоутворення, завдяки чому, у свою чергу, забезпечується рушійна сила розширення ендосперму.



**Рис. 2. Мікрофотографія хілуму в центрі зруйнованої крохмальної гранули зернівки попкорну, що залишилась незірваною після обробки [3]**

Щодо об'єму «зірваних» зерен L.O. Podesimo зі співавторами [7] встановлено, що він позитивно корелює із співвідношенням роговидного і борошністого ендосперму, при цьому об'ємний вихід продукту, отриманого у НВЧ-полі, буде зростати зі збільшенням частки зародка кукурудзи. У свою чергу, за відсутності роговидного ендосперму також можливе отримання «зірваних» зерен, наприклад, гречки, анатомічна будова якої характеризується наявністю лише борошністого ендосперму. Ю.П. Фурмановою було розроблено технологію отримання «повітряних» зерен гречки, за якою круп'яне зерно вологістю 15% протягом 55 с піддавали дії мікрохвильової обробки за потужності НВЧ-випромінювання 700 В [8].

*Зміни крохмалю під час НВЧ-обробки і його роль у процесі «зривання».* У [9] проводили порівняльний аналіз конвективного нагрівання кукурудзяних і картопляних крохмалів при 130 і 200° С та їх мікрохвильової обробки. В обох випадках було встановлене зменшення вмісту амілози, однак авторами відмічається, що мікрохвильове випромінювання не викликало суттєвих змін властивостей крохмалів.

G. Levandowicz і J. Jankowski [10] показано, що НВЧ-обробка протягом 60 хв при 2450 МГц частоти і витрат випромінювання 0,5 В/г викликає зміну структури крохмальних зерен пшениці, кукурудзи, зокрема восковидної, за умови обробки крохмалю вологістю 30%. При цьому відбувається збільшення температури клейстеризації і зменшення ступеня кристалічності оброблених крохмалів. Найбільш суттєві зміни виявлені для пшеничного крохмалю, а найбільш стійкими до мікрохвильового нагріву є крохмалі восковидної кукурудзи, які залишаються майже незмінними. Відомо, що характерною властивістю восковидної кукурудзи є відсутність у її структурі амілози, у той час як пшеничний і кукурудзяний крохмаль містять 28% цього полісахариду. Зернові крохмалі, що містять амілозу, мають відносно високу чутливість до мікрохвильової обробки: кристалічність, ступінь їх набухання і розчинність завдяки НВЧ-обробці значно знижуються, а температура клейстеризації підвищується. У [10] автори допускають, що мікрохвильова обробка крохмалю скоріше викликає утворення асоціативних зв'язків амілоза-амілопектин і часткові зміни аморфної амілози крохмальної гранули, ніж кристалізацію структурних полімерів крохмалю. Тобто здійснення мікрохвильової обробки за певних параметрів процесу може виступати методом модифікації фізико-хімічних властивостей крохмалів.

*Вплив вологості і введення додаткових компонентів на отримання «повітряних» зерен.* Вважається, що волога відіграє важливу роль у процесі отримання «зірваних» зерен, оскільки саме утворення перегрітої пари і надлишкового тиску в середині зернівки викликає миттєве збільшення її об'єму й формування губчастої тонкостінної структури зірваного зерна. У [3] визначені оптимальні значення вологості попкорну на рівні 13—17%. При таких значеннях об'ємний вихід зернівки сягав максимальних значень при мінімальній кількості незірваних зерен. Знижена кількість вологи є недостатньою для повного розширення роговидного ендосперму, а надто висока призводить до ослаблення плодової оболонки і, як наслідок, створення недостатнього тиску, який негативно впливає на ступінь збільшення об'єму зернівки. З таким твердженням узгоджуються результати досліджень Е. Shimoni зі співавторами [11], за якими встановлено, що підвищення вмісту вологи з 6 до 16,5% викликає еластичний колапс перикарпію зі зниженням на 7° С температури зривання попкорну шляхом конвективного нагрівання. Зі зростанням вологовмісту всередині зернівки тиск у момент вибуху нижчий, що викликає зменшене розширення ендосперму і менший об'ємний вихід кінцевого продукту.

У [12] показано найвищу ефективність процесу, найбільший об'ємний вихід продукту і мінімальний відсоток незірваних зерен попкорну при вологості кукурудзи 14%, при цьому у дослідженнях цей параметр коливався в межах 8—20%. Також авторами були використані різні методи отримання «зірваних» зерен попкорну — мікрохвильова обробка, конвективне нагрівання, варіння із маслом і сіллю. НВЧ-випромінювання виявилось більш ефективним з огляду на об'ємний вихід готової продукції та відсоток незірваних зерен, на відміну від варіння із маслом і сіллю, що показало найгірші результати.

Р. Huang зі співавторами [13] розглянуто вплив етилового спирту на отримання попкорну мікрохвильовою обробкою під вакуумом. Виявлено зміни крохмальних гранул клітин ендосперму та доцільність використання 10% розчину етилового спирту для попередньої обробки зерна, що дозволяє підвищити об'ємний вихід готової продукції.

J. Singh і N. Singh встановили, що досягнення 75% виходу «зірваних» зерен попкорну можливе за умови додаткового використання 10% гідрогенізованої олії, 2% масла і 0,5% хлориду натрію при обробці НВЧ-випромінюванням за потужності 660 Вт і частоти випромінювання 2450 МГц [14].

У деяких наукових працях робилися спроби зниження калорійності попкорну за умови збереження його привабливих органолептичних властивостей. L. Chedid зі співавторами [15] запропонували отримання попкорну з поліпшеним запахом і кольором шляхом використання крохмалю низької в'язкості, підданого дії амілази, замість традиційного застосування жиру чи олії перед мікрохвильовою обробкою.

Широким попитом у світі, особливо азіатських країнах, користуються «зірвані» зерна сорго. Звичайно, здатність сорго до утворення «повітряних» зерен під впливом конвективного нагрівання чи НВЧ-обробки залежить від його різновиду. У [16] досліджували чотири різні сорти сорго, що відрізнялись за фізико-хімічними показниками. Усі сорти сорго перед мікрохвильовою обробкою (900 В, 2450 МГц) протягом 140 с зволожували до  $16,5 \pm 0,5\%$  і додавали до зерна 0,5% солі та 10% олії з метою формування покриття поверхні зернівки. Виявлено, що для поп-сорго діаметр зернівки, сферичність і маса 1000 зерен

негативно корелювала з ефективним і об'ємним виходом продукції, тоді як позитивна кореляція була відмічена з питомим об'ємом сорго, твердістю і вмістом амілози, який, проте, у межах досліджених сортів коливався 20,3—23,4% до загального вмісту крохмалю. Також шляхом скануючої електронної мікроскопії показана важлива роль товщини перикарпію щодо впливу на здатність зерна сорго зриватися у НВЧ-полі.

У проведених нами попередніх дослідженнях як концентратори енергії для моделювання процесу «зривання» зерен обрано мінерали (карбонат кальцію), природа руйнування яких у НВЧ-полі до цього часу не встановлена. Використання інших видів енергії для впливу на вапняк при цьому не призводить до таких ефектів. Було проведено нагрівання трьох різновидів вапняку в муфельній печі до температури 800 К і газовою горілкою до 1200 К. При цьому руйнування дослідних зразків не відбувалось. У свою чергу, внаслідок НВЧ-обробки вибухове руйнування починалось за температури, що незначно перевищувала кімнатну. Випромінювання проводилось у вільному просторі за довжини хвилі 12,63 см, потужність джерела випромінювання складала 3 кВт, а випромінювачем слугував відрізок прямокутного хвильоводу. Загальні розміри зразків становили 1000 см<sup>3</sup>.

*Фактори впливу на ефективність процесу.* Реалізація технології отримання «зірваних» зерен оцінюється шляхом визначення ряду показників ефективності виробничого процесу, до яких відносяться:

- вміст зерен, що не були зірвані;
- високі органолептичні властивості «зірваних» зерен — форма, колір, запах, смак;
- збільшення об'ємного виходу продукту зі зменшенням питомої ваги зерна;
- збереження біологічно активних речовин (амінокислот, ПНЖК, вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон) у стані максимального засвоювання організмом людини;
- відсутність шкідливих речовин, утворених під час мікрохвильової обробки зі сторони гострих, а особливо хронічних наслідків.

На технологічний процес одержання кінцевої продукції при цьому впливатиме комплекс факторів, які можна поділити на три основні групи (рис. 3).

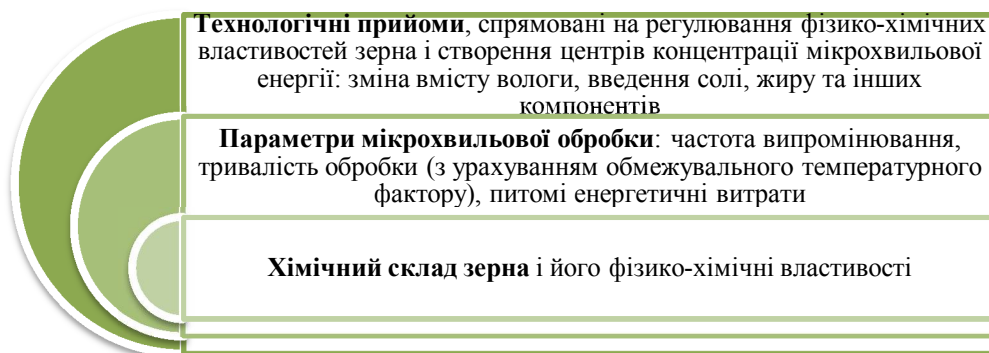


Рис. 3. Фактори впливу на процес отримання «зірваних» зерен шляхом НВЧ-обробки

Увагу привертає той факт, що фактично відсутні є відомості щодо отримання «зірваних» зерен за допомогою штучних і природних концентраторів енергії у НВЧ-полі. Тому на даному етапі коло експериментів було значно розширене —

застосовані нові еквівалентні матеріали і більш різноманітні концентратори енергії, гранулометричний склад останніх змінювався до порошкоподібного.

Слід відзначити, що до теперішнього часу в літературі не знайдено жодних відомостей щодо дії штучних внутрішніх концентраторів енергії на матеріали у НВЧ-полі. Близькими за направленістю проблемами займається радіоінтроскопія, у завдання якої входить знаходження неоднорідності всередині (будови) матеріалів, у тому числі зернової сировини. Проте у даному випадку мова йде лише про надходження інформативних параметрів електромагнітних хвиль, за якими можна визначити геометрію, склад чи глибину знаходження неоднорідності у середовищі.

Попередні експериментальні дослідження показали, що природні включення з високими діелектричними втратами, які знаходяться всередині ізотропного середовища, за певних умов можуть проявлятися самі собою, тобто внаслідок зміни під впливом НВЧ-випромінювання об'єму, фазових перетворень, характеру зривання. Такі включення здатні відокремлювати від загального масиву частки матеріалу різноманітного об'єму.

Таким чином, якщо знайти спосіб введення концентраторів НВЧ-енергії у зерно, то під впливом випромінювання незалежно від хімічного складу оброблюваного матеріалу стане можливим отримання «зірваних» зерен. Для досягнення такої мети необхідне вирішення таких завдань:

- визначення параметрів НВЧ-обробки зерна й еквівалентних матеріалів зі штучними концентраторами енергії, що необхідні для їх зривання;
- вибір матеріалів, які забезпечують внутрішню концентрацію енергії і тиспіввідношення між розмірами концентраторів і довжиною хвилі випромінювання;
- визначення ефективності і характеру вибуху залежно від матеріалу і розмірів включень, що виступають концентраторами енергії;
- розроблення методики експериментальних досліджень і підготовка лабораторного стенду для вивчення процесу зривання зерен електромагнітною енергією НВЧ.

Здійснення експериментальних досліджень у заданому напрямку надасть можливість суттєво розширити асортимент снєкової продукції на вітчизняному і світовому ринку.

**Висновки.** Анатомічні особливості будови зернівки суттєво впливають на здатність зерна до «зривання». До визначальних структурних складових відносяться перикарпій і ендосперм. Збільшення об'єму «зірваних» зерен позитивно корелює із співвідношенням роговидного і борошністого ендосперму. Вирішальну роль у нуклеації відіграє хілум, який слугує центром зародкоутворення крохмальної гранули роговидного ендосперму.

Крохмаль є чутливими до електромагнітної обробки НВЧ. Мікрохвильова обробка протягом 60 хв при 2450 МГц частоти і витрат випромінювання 0,5 В/г викликає зміну структури крохмальних зерен пшениці, кукурудзи, зокрема восковидної, за умови обробки крохмалю вологістю 30%. Чутливість крохмалю до обробки обумовлюється наявністю у крохмальній гранулі амілози, тому найбільш стійкими до НВЧ-обробки є безамілозні крохмалі.

Показники ефективності процесу отримання «зірваних» зерен злакових культур залежать від вмісту вологи у зернівці, яка перед обробкою повинна знаходитись у межах 13—17%. Досягнення 75% виходу «зірваних» зерен можливе за умови додаткового використання 10% гідрогенізованої олії, 2%

масла і 0,5% хлориду натрію при обробці НВЧ-випромінюванням за потужності 660 Вт і частоти випромінювання 2450 МГц.

Для моделювання процесу «зривання» зерен використано карбонат кальцію, який є стійким до термічної обробки. Природні включення з високими діелектричними втратами, що знаходяться всередині ізотропного середовища, за певних умов можуть проявлятися самі собою, тобто внаслідок зміни під впливом НВЧ-випромінювання об'єму, фазових перетворень, характеру зривання. Такі включення здатні відокремлювати від загального масиву частки матеріалу різноманітного об'єму.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Understanding and characterizing flake polymorphisms as a quality attribute for microwave popcorn, 2012 [Electronic resource]. — Accessed mode: <https://search.proquest.com/openview/ca14010ff56dfbb3aеacac8d20bd8a93d/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.
2. 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.
3. Hosene R.C. Mechanism of popcorn popping / R.C. Hosene, K. Zeleznak, A. Abdelrahman // Journal of cereal science. — 1983. — Vol. 1. — # 1. — P. 43—52.
4. Role of the pericarp cellulose matrix as a moisture barrier in microwaveable popcorn / Tandjung A.S., Janaswamy S., Chandrasekaran R., Aboubacar A., Hamaker B.R. // Biomacromolecules. — 2005. — Vol. 6. — # 3. — P. 1654—1660.
5. Sweley J.C. Composition and sensory evaluation of popcorn flake polymorphisms for a select butterfly-type hybrid / J.C. Sweley, D.J. Rose, D.S. Jackson // Cereal chemistry. — Vol. 88. — # 3. — 2011. — P. 321—327.
6. Hosene R.C. Pericarp and endosperm structure of sorghum grain shown by scanning electron microscopy / R.C. Hosene, A.B. Davis, L.H. Harbers // Cereal chemistry. — 1974. — Vol. 51. — C. 552—558.
7. Pordesimo L.O. Quantification of horny and floury endosperm in popcorn and their effects on popping performance in a microwave oven / L.O. Pordesimo, R.C. Ananteswaran, P.J. Mattern // Journal of cereal science. — 1991. — Vol. 14. — # 2. — P. 189—198.
8. Фурманова Ю.П. Технологія харчового продукту із зерна гречки: автореферат дис. канд. техн. наук / Ю.П. Фурманова. — К., 2012. — 20 с.
9. Changes in some physico-chemical properties of starch granules induced by heating and microwave radiation / Palasinski M., Fortuna T., Juszczak L., Fornal J. // Polish journal of food and nutrition sciences. — Vol. 9. — 2000. — P. 17—22.
10. Lewandowicz G. Fornal effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches / G. Lewandowicz, T. Jankowski // Carbohydrate polymers. — Vol. 42. — 2000. — P. 193—199.
11. Shimoni E. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters / E. Shimoni, E.M. Dirks, T.P. Labuz // LWT — Food science and technology. — Vol. 35. — Iss. 1. — 2002. — P. 93—98.
12. Sabri G. Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn / G. Sabri // Journal of food engineering. — Vol. 65. — Iss. 3. — 2004. — P. 357—362.
13. Huang R. Effect of alcohol on microwave vacuum popping of popcorn / R. Huang, H. Rui, Q. Zeng // Journal of south china university of technology natural science. — Vol. 5. — 2003. — P. 128—131.
14. Jaspreet S. Effect of different ingredients and microwave power on popping characteristics of popcorn / S. Jaspreet, S. Narpinder // Journal of food engineering. — Vol. 42. — # 3. — 1999. — P. 161—165.
15. Patent US 5753287 A Flavored popping corn with low or no fat / Chedid L., Huang D.P., Baytan P.; assignee National starch and chemical investment holding corporation; published 19.05.1998.

16. Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum / Gayatri M., Dinesh C.J., Debabandya M., Bhushan V.B. // Journal of cereal science. — Vol. 65. — 2015. — P. 19—24.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЗОРВАННЫХ ЗЕРЕН СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Ю.Ю. Куянов, С.Ю. Мыколенко**

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет*

*В статье проанализирована роль анатомического строения зерновки, изменения основных компонентов химического состава под воздействием СВЧ-излучения. Показано, что микроволновая обработка изменяет свойства крахмалов, чувствительность которых к действию СВЧ-излучения зависит от наличия амилозы. Применение соли, жира перед СВЧ-обработкой позволяет достичь повышения выхода и качества конечной продукции. Обосновано ряд показателей эффективности технологического процесса и показано факторы, которые являются определяющими для технологии.*

**Ключевые слова:** зерно, взрыв, СВЧ-обработка, перикарпий, эндосперм, концентраты СВЧ-энергии.



УДК 637.5

## INVESTIGATION THE EXTRACTION PROCESS OF THE QUERCETIN RAW MATERIAL FOR MANUFACTURE OF MEAT PRODUCTS

T. Ivanova, K. Zusko, A. Kuts, N. Gregirchak, L. Peshuk  
National University of Food Technologie

### Key words:

quercetin-containing raw materials, extraction, onion scin, dry matter, organoleptic and microbiological parameters.

### Article history:

Received 26.09.2017  
Received in revised form 20.10.2017  
Accepted 21.11.2017

### Corresponding author:

tatiana\_n.iv@ukr.net

### ABSTRACT

Pre-selected and analyzed quercetin-containing raw materials, which are safe and affordable for the technology of meat products, including sausages. The optimum parameters of extraction of plant material (hydromodule, duration and temperature of extraction) are determined depending on the content of dry substances in the prepared extracts; the regression equation is derived to determine the dry matter content, depending on the extraction conditions. The microbiological, organoleptic characteristics of onion scin extracts and coltfoot, as well as finished products with the addition of these extracts were determined.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ КВЕРЦЕТИНВМІСНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

Т.М. Іванова  
К.В. Зусько  
А.М. Куц, канд. техн. наук  
Н.М. Грегирчак, канд. техн. наук  
Л.В. Пешук, д-р с-г наук,  
Національний університет харчових технологій

*Попередньо відібрано і проаналізовано кверцетинвмісну рослинну сировину, яка є безпечною і доступною для технології м'ясних продуктів, в тому числі сосисок. Встановлено оптимальні параметри екстрагування рослинної сировини (гідромодуль, тривалість і температура екстрагування) залежно від вмісту сухих речовин у готових екстрактах, виведено рівняння регресії для визначення їх вмісту з урахуванням умов екстрагування. Визначені мікробіологічні, органолептичні показники екстрактів лушпиння цибулі та мати-й-мачухи, а також готових виробів із додаванням цих екстрактів.*

**Ключові слова:** кверцетинвмісна сировина, екстрагування, лушпиння цибулі, сухі речовини, органолептичні та мікробіологічні показники.

**Постановка проблеми.** На сьогодні велика частка продуктів, особливо жировмісних, піддається псуванню через недотримання технологічних режимів

виготовлення чи правил зберігання, а також через високий вміст жиру. Для м'ясних продуктів гальмівну дію на процес окиснення спричиняють фенольні компоненти копильного диму, нітрит натрію та аскорбінова кислота та ін. Проте перераховані добавки застосовують не для всіх м'ясних виробів і не всі вони проходять процес копчення. Тому пошук ефективних, простих, доступних і безпечних антиоксидантів для виробництва різних груп м'ясних продуктів є досить актуальним.

Нині при виробництві м'ясних виробів використовують як синтетичні антиоксиданти, так і природні. Отримані з рослинної сировини природні антиоксиданти, на відміну від хімічно синтезованих, не проявляють негативного побічного впливу на організм людини, а навпаки, покращують якісні характеристики продукту [1]. Одним із найбільш поширених і потужних джерел речовин з антиоксидантними властивостями є кверцетин, який є коштовним препаратом. Тому пошук і дослідження нативної кверцетинвмісної сировини досить перспективний. Значна кількість кверцетину міститься в лушпинні цибулі (до 40000 мг/кг) [2], а також є складовою хімічного складу лікарської рослини мати-й-мачухи [3].

Численними дослідженнями доведено, що лікарська рослинна сировина є невичерпним джерелом натуральних біологічно активних речовин (БАР), які навіть у мінімальній кількості сприятливо впливають на організм людини. Одним із найпростіших способів вилучення цільових компонентів з рослинної сировини є екстрагування. Це процес, який не потребує коштовного устаткування та матеріалів, але відрізняється високою ефективністю [4—6]. Тому він був застосований для отримання екстрактів з кверцетинвмісної рослинної сировини.

Попередньо нами було відібрано і проаналізовано кверцетинвмісну рослинну сировину, яка є безпечною і доступною для технології м'ясних продуктів, в тому числі сосисок [7]. У попередніх дослідженнях кількість кверцетину в екстрактах досліджувалось за однакових гідромодулів (1:25) і було встановлено, що в екстракті лушпиння цибулі кверцетину 1,53%, а в екстракті з мати-й-мачухи — 1,52%. На наступному етапі було досліджено вміст сухих речовин (СР) у даних екстрактах і встановлено, що він відрізняється для кожної рослинної сировини, навіть за однакових гідромодулів і способів екстрагування. Саме тому було проведено варіювання вище описаних факторів, підібрано оптимальні умови екстрагування і визначено кількість кверцетину в готових екстрактах.

**Матеріали і методи.** Предмет дослідження — лушпиння цибулі (ДСТУ 3234-95 «Цибуля ріпчаста свіжа. Технічні умови») та листя лікарської рослини мати-й-мачуха (лат. *Tussilago farfara* L.) (ГОСТ 13382-67 «Лист мать-и-мачехи. Технические условия»).

Вміст сухих речовин в отриманих екстрактах визначали рефрактометричним методом. Органолептичні показники екстрактів оцінювали відповідно до ДСТУ 7099:2009 «Продукція безалкогольної промисловості. Методи визначання органолептичних показників та об'єму продукції». Відбір проб сосисок для органолептичних досліджень і підготовку їх до аналізу здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 4823.2:2007 «Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 2. Загальні вимоги».

Мікробіологічні дослідження екстрактів здійснювали за методиками, затвердженими Міністерством охорони здоров'я і державними стандартами. Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів

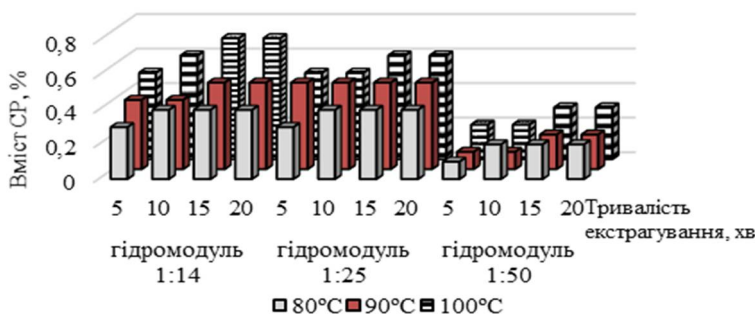
(КМАФАНМ), дріжджів і пліснявих грибів визначали за стандартними методами досліджень [8].

Мікробіологічні дослідження проводили відразу після приготування і охолодження екстрактів, а також через 8, 24 та 72 год зберігання. Зразки зберігали при температурі 0...6° С.

**Результати та їх обговорення.** Екстрагування рослинного матеріалу, що має клітинну структуру, є складним фізико-хімічним процесом, на перебіг якого суттєво впливають такі чинники: природа екстрагенту, ступінь подрібнення рослинного матеріалу, температура і тривалість процесу, різниця концентрацій сухих речовин у системі, співвідношення сировина : екстрагент [9].

Водні екстракти кверцетинвмісної сировини отримували шляхом екстракції. Параметри екстрагування варіювали в межах: гідромодуль — від 1:10 до 1:50, температура — від 80 до 100 °С, тривалість процесу — від 5 до 20 хв. Вміст сухих речовин визначали кожні 5 хв. Процес вважали завершеним, коли вміст сухих речовин не змінювався впродовж наступних 5—10 хв. Екстракти охолоджували до кімнатної температури, відфільтровували та досліджували.

Експериментально були встановлені оптимальні параметри екстрагування СР із лушпиння цибулі (рис. 1): гідромодуль 1:25, тривалість екстрагування 15 хв за температури 90...100° С. В отриманому екстракті вміст сухих речовин склав 0,6%. Проте рецептури м'ясних продуктів обумовлюють лімітовану кількість рідини (води чи екстракту). Враховуючи, що кверцетин є термостійкою речовиною, було прийнято рішення упарювати отриманий екстракт (за температури 90—100°С, у 10 разів). Після упарювання теж було визначено концентрації сухих речовин в екстракті, який склав 10,7% і кількість кверцетину — 1 г/дм<sup>3</sup>.



**Рис. 1.** Вміст СР в екстракті лушпиння цибулі, %, залежно від гідромодуля, тривалості і температури екстрагування

При екстрагуванні лікарської рослини мати-й-мачухи при збільшенні гідромодуля вміст сухих речовин збільшувався, але екстрагенту майже не лишалось, тому збільшення кількості сировини було недоцільним (рис. 2).

Встановлено, що для екстрагування СР із лікарської трави мати-й-мачухи оптимальними умовами є: гідромодуль зі співвідношенням сировини до екстрагенту 1:10, тривалість екстрагування 15 хв за температури 90...100° С (рис. 2). За таких умов вміст СР в отриманому екстракті склав 4,9%, а кількість кверцетину в отриманому екстракті — 3,2 г/дм<sup>3</sup>.

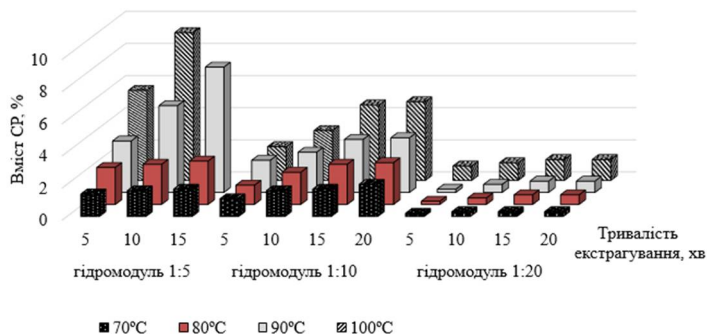


Рис. 2. Вміст CP в екстракті лікарської рослини мати-й-мачухи, %, залежно від гідромодуля, тривалості і температури екстрагування

Були також проаналізовані органолептичні показники водних екстрактів лушпиння цибулі та мати-й-мачухи (табл. 1).

Таблиця 1. Органолептичні показники екстрактів рослинної сировини

Назва показника	Екстракти	
	Лушпиння цибулі	Мати-й-мачухи
Зовнішній вигляд	Темно-коричневий	Темно-зелений
Аромат	Свіжий, з нотками цибулі	Яскраво виражений, сильний, специфічний, властивий сировині
Смак	Гармонійний, з присмаком цибулі	Яскраво виражений, трав'янистий, характерний для даної рослинної сировини

З табл. 1 видно, що органолептичними показниками отримані екстракти мали показники властиві даному виду рослинної сировини і можуть бути рекомендовані для внесення у рецептури м'ясних продуктів. Тому також були проведені дослідження органолептичних показників готових виробів (сосисок) з додаванням досліджуваних кверцетинвмісних екстрактів.

Органолептична оцінка сосисок (рис. 3) показала, що в експериментальних зразках сосисок з використанням екстракту лушпиння цибулі було відмічено присмний аромат і рожевий колір. Проте, сосиски з використанням екстракту з лікарської рослини мати-й-мачуха мали легкий присмак та аромат даної трави, що не дуже властиво для даного виду продукту.

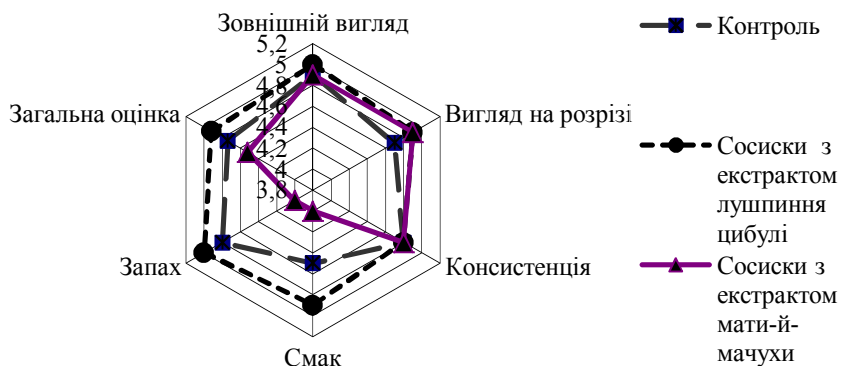


Рис. 3. Органолептичні показники сосисок з використанням кверцетинвмісних екстрактів

Враховуючи деякі особливості умов збирання та зберігання кверцетинвмісної сировини, складаються сприятливі умови для розвитку мікрофлори в екстрактах з неї. Тому необхідним було проведення мікробіологічної оцінки стабільності технологічних властивостей даної сировини у виробничих умовах.

Так, мікробіологічний аналіз екстрактів з рослинної сировини показав, що протягом 72 год зберігання при 0...6° С, вони відповідають встановленим санітарно-мікробіологічним нормативам та є безпечними для подальшого їх використання в рецептурі м'ясних продуктів (табл. 2).

Бактерій групи кишкової палички та золотистого стафілокока в досліджених екстрактах не виявлено, що свідчить про дотримання санітарно-гігієнічних норм під час їх отримання.

**Таблиця 2. Мікробіологічні показники визначення КМАФАнМ, дріжджових і пліснявих грибів у кверцетинвмісних водних екстрактах за температури 0..6° С**

Види екстрактів	Тривалість зберігання	Число мікроорганізмів, КУО/ см <sup>3</sup>					
		Вимоги згідно з нормативними документами		КМАФАнМ*	Дріжджові і плісняві гриби *		
		КМАФАнМ*	Дріжджові і плісняві гриби *				
Екстракти отриманні при 90° С							
Екстракт лушпиння цибулі	свіжовиготовлені	1,0 · 10 <sup>5</sup>	1,0 · 10 <sup>4</sup>	1,0 · 10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>		
	8 год			1,0 · 10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>		
	24 год			2,2 · 10 <sup>2</sup>	6,0 · 10 <sup>2</sup>		
	72 год			2,8 · 10 <sup>3</sup>	8,0 · 10 <sup>2</sup>		
Екстракт мати-й-мачухи	свіжовиготовлені					1,6 · 10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
	8 год					1,9 · 10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>
	24 год					2,5 · 10 <sup>2</sup>	7,0 · 10 <sup>2</sup>
	72 год					2,7 · 10 <sup>3</sup>	8,0 · 10 <sup>2</sup>
Екстракти отриманні при 100° С							
Екстракт лушпиння цибулі	свіжовиготовлені	1,0 · 10 <sup>7</sup>	1,0 · 10 <sup>5</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>2</sup>		
	8 год			<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>2</sup>		
	24 год			3,0 · 10 <sup>1</sup>	1,0 · 10 <sup>2</sup>		
	72 год			4,2 · 10 <sup>2</sup>	2,0 · 10 <sup>2</sup>		
Екстракт мати-й-мачухи	свіжовиготовлені					<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>2</sup>
	8 год					<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>2</sup>
	24 год					1,0 · 10 <sup>1</sup>	1,0 · 10 <sup>2</sup>
	72 год					7,0 · 10 <sup>1</sup>	1,0 · 10 <sup>2</sup>

**Примітка.** \* стат. рівень значимості  $p \leq 0,05$ .

За даними табл. 2 можна зробити висновок, що краще проводити екстрагування за температури 100° С, оскільки кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ), дріжджів та пліснявих грибів в екстрактах навіть через 72 год з моменту виготовлення знаходилась в межах встановлених норм.

**Висновки.** Підібрано оптимальний гідромодуль, тривалість та температуру екстрагування сухих речовин і кверцетину із лушпиння цибулі й лікарської

рослини мати-й-мачуха. За мікробіологічними показниками встановлено, що екстракти мали тривалість зберігання не менше 72 год і можуть використовуватись у технології м'ясних виробів. За органолептичними показниками сосиски, вироблені з додаванням екстракту лушпиння цибулі, мали приємний смак і аромат, у той час як сосиски з екстрактом мати-мачухи набували специфічного смаку та аромату, що є не властивим для даного виду продукту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Spinach. Spinach powder, as a natural antioxidant for frying. Zhurnal pishchevii khimii / J Lee, S. Lee, H. Lee, K. Parketal // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2002. — # 50. — P. 5664—5669.
2. Флаваноид кверцетин — мощное оружие против комплекса болезней цивилизации // Medical Nature. — 2013. — № 1. — С. 6—9.
3. Кацуба І.К. Дослідження фенольних сполук листя мати-й-мачухи / І.К.Кацуба, В.С. Кисличенко, О.М. Новосел // Український медичний альманах. — 2011. — Том 14, № 6. — С. 92—94.
4. Домарецький В.А. Технологія екстрактів, концентратів і напоїв із рослинної сировини: підручник В.А. Домарецький, В.Л. Прибильський, М.Г. Михайлов. — Вінниця : Нова книга, 2005. — 408 с.
5. Екстракція рослинної сировини / Ю.І.Сидоров, І.І. Губицька, Р.Т. Конечна, В.П. Новіков. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. — 336 с.
6. Плотников Е.Е. Растительные антиоксиданты в производстве мясных изделий / Е.Е. Плотников // Мясная индустрия. — 2010. — № 7. — С. 26—28.
7. Пешук Л.В. Перспективи використання вторинної кверцетинвмісної сировини (лушпиння цибулі і часнику) і лікарських трав у технології спеціальних м'ясних продуктів / Л.В. Пешук, Ю.В. Гавалко, Т.М. Іванова // Наукові праці НУХТ. — Київ. — 2016. — Т. 22, № 5. — С. 238—244.
8. Грегирчак Н.М. Мікробіологія харчових виробництв: лабораторний практикум / Н.М. Грегирчак — К. : НУХТ, 2009. — 302 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв: навчальний посібник / І.Ф. Малежик, П.М. Немирович, В.Л. Зав'ялов та ін.; за ред. І.Ф. Манежика. — К. : НУХТ, 2015. — 4386 с.: іл.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ КВЕРЦЕТИНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

Т.Н. Иванова, К.В. Зусько, А.М. Куц, Н.Н. Грегирчак, Л.В. Пешук  
Национальный университет пищевых технологий

*Предварительно отобрано и проанализировано кверцетинсодержащее растительное сырье, которое является безопасным и доступным для технологии мясных продуктов, в том числе сосисок. Установлены оптимальные параметры экстрагирования растительного сырья (гидромодуль, продолжительность и температура экстрагирования) в зависимости от содержания сухих веществ в готовых экстрактах, выведено уравнение регрессии для определения содержания сухих веществ в зависимости от условий экстрагирования. Определены микробиологические, органолептические показатели экстрактов шелухи лука и мать-и-мачехи, а также готовых изделий с добавлением этих экстрактов.*

**Ключевые слова:** кверцетинсодержащее сырье, экстрагирование, луковая шелуха, сухие вещества, органолептические и микробиологические показатели.

УДК 637. 146

## TECHNOLOGY OF PROTEIN-BERRY CLOTS FROM DAIRY RAW MATERIALS

O. Grek, O. Onopriichyk, T. Pshenychna

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

protein-berry clot,  
berry coagulant,  
thermo-acid coagulation,  
changes quality indicators  
of protein-berry clots  
during the storage.

**Article history:**

Received 17.02.2017  
Received in revised form  
19.04.2017  
Accepted 23.05.2017

**Corresponding author:**

tanya5031@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The technology of obtaining protein-berry clots by thermo acid coagulation of milk proteins has been developed, a feature of which is the berry raw materials' uses as a coagulant. The criteria of choosing berry coagulant and the optimum berries amount for effective implementation thermo acid coagulation of milk proteins with the maximum clot yield was determined. The heat treatment temperature was installed at a level  $(75\pm 1)$  °C with duration of  $(2\pm 1)$  min. The influence of berry coagulant on the formation of protein-berry clots and the changes their physicochemical parameters during the storage were considered in work. The research results showed that berry coagulant introduction in an amount from 3 to 11% provide effective conducting of thermo-acid coagulation and obtaining clots with the corresponding quality indicators.

---

## ТЕХНОЛОГІЯ БІЛКОВО-ЯГІДНИХ ЗГУСТКІВ З МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

О.В. Грек, канд. техн. наук

О.О. Онопрійчук, канд. техн. наук

Т.В. Пшенична

Національний університет харчових технологій

У статті розроблена технологія отримання білково-ягідних згустків термокислотним осадженням молочних білків, особливістю якої є застосування ягідної сировини як коагулянту. Визначена температура теплового оброблення на рівні  $(75\pm 1)$  °C з витримкою  $(2\pm 1)$  хв. Розглянуто вплив ягідного коагулянту на процес утворення білково-ягідних згустків і зміну їх фізико-хімічних показників протягом зберігання. Результати досліджень довели, що внесення ягідного коагулянту в кількості від 3 до 11% забезпечує ефективне проведення процесу термокислотної коагуляції й отримання згустків з відповідними показниками якості.

**Ключові слова:** білково-ягідний згусток, ягідний коагулянт, термокислотна коагуляція, зміна показників якості білково-ягідних згустків під час зберігання.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції розширення асортименту сиркових виробів спрямовані на створення збалансованої за харчовою та біологічною цінністю продукції. Перспективним напрямком є розроблення інноваційних технологій, що передбачають комплексне використання білків молока, збільшення виходу молочно-білкових згустків і повне перероблення сироватки. Реалізація цих

заходів досягається удосконаленням і науковим обґрунтуванням основних технологічних процесів.

Молочно-білкові згустки можна отримати за допомогою кислотного, кислотно-сичужного, термокислотного та термокальцієвого способів осадження білків молока. Термокислотна коагуляція забезпечує утворення згустку, який відрізняється не тільки високим вмістом білка, але й підвищеною біологічною цінністю за рахунок спільного осадження казеїну та сироваткових білків. Даний спосіб заснований на властивості казеїну осідати в ізоелектричній точці за активної кислотності 4,6...4,7, яка досягається шляхом молочнокислого бродіння або штучного підкислення — додавання кислоти сироватки. Позитивний або негативний заряд казеїну залежить від рН середовища: при рН вище за ізоелектричну точку він має негативний заряд і є аніоном, при рН нижче за ізоелектричну точку — заряджений позитивно і є катіоном. При збалансуванні зарядів казеїн стає електронейтральним, що призводить до його осадження та утворення згустку. На відміну від казеїну, сироваткові білки не асоціюють один з одним і не коагулюють в ізоелектричній точці, але більш чутливі до нагрівання за температури (75...80) °С, що викликає їх денатурацію.

На підприємствах молокопереробної галузі як коагулянт переважно використовують кислу сироватку (вище 150° Т), іноді — харчові кислоти: лимонну, оцтову, молочну.

Актуальним є розроблення технологій сиркових виробів на основі термокислотної коагуляції молочних білків за наявності функціональних нутрієнтів (вітамінів і мінеральних елементів), джерелом яких може бути ягідна сировина. Продуктами осадження є білково-ягідні згустки та сироватка з відтінком внесеного ягідного коагулянту. Використання забарвлених продуктів розділення як основи для різних молочних виробів забезпечить виключення харчових барвників та ароматизаторів штучного походження.

Ягоди чорної смородини можна застосовувати в нативному стані, замороженому, у вигляді пюре, паст і підварок. У них міститься ряд важливих в біологічному відношенні речовин: цукрів (4,5...11,02%), дубильних (0,7...0,9%), пектинових речовин (7,4...11,1%), флавоноїдів (245...1047 мг%), органічних кислот (1,90...3,66%), вітаміну С (98,6...177,0 мг/100 г) та мінеральних речовин — К, Са, Mg, Na (464,15...478,48 мг/100 г) [1; 2].

Більш доцільним є використання паст спеціального оброблення — виготовлених у стерильних умовах зі сталими показниками, що виключають внесення сторонньої мікрофлори і, як наслідок, отримання продукту з передбаченими нормативними показниками.

Існують розробки щодо використання ягід чорної смородини в нативному вигляді як коагулянту [3]. Проте в разі використання ягід різного ступеня термічного та механічного оброблення даний процес потребує додаткових досліджень.

**Метою дослідження** є розроблення технології білково-ягідних згустків (БЯЗ) способом термокислотного осадження молочних білків ягідним коагулянтом (ЯК) у вигляді спеціально обробленої пасти.

**Об'єкти і методи.** На першому етапі дослідження підбирали ягідний коагулянт за критеріями, які зазначені на рис.1. Визначали оптимальну кількість внесення ягід для ефективного проведення процесу термокислотного осадження білків молока (за температурою й тривалістю) з максимальним кінцевим виходом згустку.



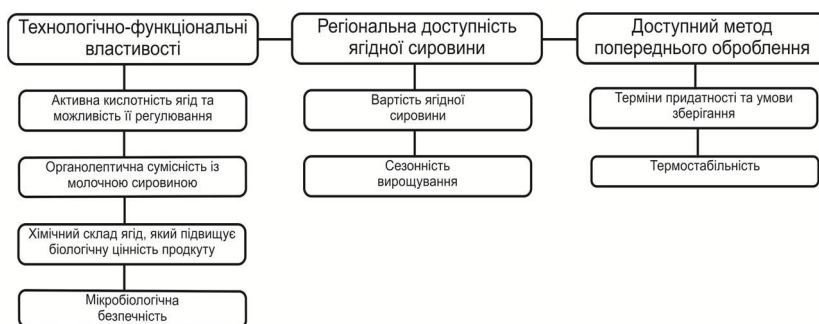


Рис. 1. Критерії вибору ягідного коагулянту

За вищезазначеними критеріями як коагулянт було обрано ягоди чорної смородини, у вигляді пасти — гомогенізованої стерилізованої або свіжовиготовленої із дефростованих подрібнених ягід, із вмістом органічних кислот в кількості 1,9 — 3,6%. Згідно з даними виробника LiQberry (ТУУ 15.3-24110704-003:2011) та інформацією інших джерел [4; 5] пасти з чорної смородини мають показники, наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Основні фізико-хімічні показники паст чорної смородини

Основні фізико-хімічні показники	Значення	
	для дефростованих, подрібнених ягід	для гомогенізованої чорносмородинової пасти
Розчинні сухі речовини, %	13,25	9,0
Активна кислотність, рН	2,6	2,8
Органічні кислоти, г/100 г	1,90...3,66	2,0...2,5
Вітамін С, мг/100 г	170...200	20...40
Пектини, г/100 г	0,41...1,99	0,9...1,1

Загалом, внесення паст чорної смородини різного способу оброблення в молоко завдяки низькій активній кислотності сприятиме отриманню міцного згустку, а за рахунок сухих речовин рослинних складових збільшенню виходу продукту.

При використанні як коагулянта замороженої сировини проводили такі операції: спочатку ягоди піддавали дефростації при кімнатній температурі (18±2) °С до повного розморожування та подрібнювали до однорідного стану (пасти) з розміром часток 200...250 мкм.

Гомогенізовану чорносмородинову пасту, яку теж було використано як коагулянт, виготовляють за технологією, що включає гідродинамічне (кавітаційне) оброблення сировини на установці типу ТЕК-СМ, для забезпечення випуску промислово стерильних продуктів із заданим ступенем диспергування та підвищеною біологічною і поживною цінністю, а також максимально збереженими біологічно активними речовинами ягід в готовому продукті [6].

Отримували білково-ягідні згустки термокислотним осадженням молочних білків ягідним коагулянтом (рН 2,6±0,2) у кількості від 3% до 11% з кроком варіювання 2%. Саме ця кількість в різній мірі змінює активну кислотність у суміші для забезпечення врівноваженого ізоелектричного стану білків молока у всьому об'ємі і призводить до активного їх коагулювання.

Сировиною для отримання БЯЗ обрано знежирене молоко з масовою часткою сухих речовин — 11,2%, білка — 3,7%, активною кислотністю — 6,7. Теплове

оброблення молочної суміші і осадження білків здійснювали за класичною технологією з оптимізацією режимів термокислотної коагуляції на основі результатів попередньо проведених досліджень [7]. Було з'ясовано вплив кількості ягідного коагулянту, його активної кислотності й тривалості термокислотного оброблення на процес осадження білків молока. Встановлено, що збільшення кількості внесення ягідного коагулянту до 11% і зниження активної кислотності до 2,4 з тривалістю витримки до 3 хв характеризується найвищими процесами дестабілізації, а також має найбільший вплив на вихід білково-ягідного згустку, активну кислотність з урахуванням обмежень за органолептичними показниками [8].

Ягідний коагулянт вносили в підігріте до температури  $(75 \pm 1)$  °С знежирене молоко, злегка перемішували та витримували  $(2 \pm 1)$  хв до утворення згустку. Комплексний вплив на білки молока високих температур і кислотних реагентів приводить до максимально повного їх осадження. Процес коагуляції встановлювали візуально за інтенсивним утворенням пластівців білка і виділенню сироватки. Масова частка сухих речовин останньої коливалась у межах від 6,8% до 7,2%, колір від світло-фіолетового до яскраво-фіолетового.

Контрольний зразок готували за класичною технологією, використовуючи як коагулянт кислу сироватку з титрованою кислотністю  $160^\circ$  Т. Її вносили невеликими порціями, підтримуючи температуру коагуляції на рівні  $(90 \pm 1)$  °С. Отримані молочно-білкові та білково-ягідні згустки формували і піддавали самопресуванню протягом 30 хв. На другому етапі визначали вплив внесеного ягідного коагулянту на фізико-хімічні показники білково-ягідних згустків і зміну їх під час зберігання. Масову частку вологи вимірювали шляхом висушування зразка до постійної маси; активну кислотність всіх зразків — на потенціометричному рН-метрі Sartorius PB-20; вологоутримуючу здатність БЯЗ — методом Грау-Хамма в модифікації А.А. Алексєєва, заснованому на визначенні кількості (маси) води, що виділяється з продукту при легкому пресуванні його та поглинається фільтрувальним папером [9].

Різниця між показниками якості (активна кислотність, масова частка вологи, вологоутримуюча здатність) отриманих БЯЗ з різними видами чорносмородинових паст становила від 0,1 до 0,5%, що лежить в межах похибки. Тому як ягідний коагулянт можна використовувати пасту, отриману будь-яким із запропонованих способів, обмеження можливі лише за мікробіологічною безпекою [10].

На третьому етапі були відпрацьовані технологічні режими отримання білково-ягідних згустків — температура й тривалість процесу коагуляції і регулювання виходу — за кількістю та активною кислотністю ягідного коагулянту.

Результати дослідження. Вибір оптимальної кількості ягідного коагулянту базувався на збереженні нормативних фізико-хімічних показників (масової частки вологи від 67,0 до 80,0%, активної кислотності від 5,15 до 5,25 та вологоутримуючої здатності від 69,36 до 79,5%), характерних для молочно-білкових згустків, які використовуються для виробництва різних видів сиркових виробів. Крім того, враховували інтенсивність осадження білків молока й тривалість високотемпературного оброблення, від якого залежить вихід БЯЗ. Дослідження показали, що внесення ягідного коагулянту в кількості більшій ніж 11%, викликає надто виражений, насичений смак і колір ягід у білково-ягідних згустках, а при внесенні кількості менше ніж 3% — ускладнюється процес синерезису та підвищуються втрати білків у сироватку. Результати проведених досліджень представлені на рис. 2 та 3 відповідно.

Проведені дослідження показали, що зі збільшенням кількості внесення ягідного коагулянту вихід БЯЗ підвищується від 153 г до 246 г (на 60%) (рис. 2), а масова частка води знижується від 73,36% до 67,53% (рис. 3), що в цілому характеризується підвищенням переходу білків молока в згусток як казеїнової фракції, так і сироваткової. При нагріванні знежиреного молока сироваткові білки денатурують за наявності кислоти, розгортаючи свої поліпептидні ланцюги. Отримані при денатурації комплекси сироваткових білків і казеїну захоплюють сухі речовини ягідного коагулянту (пектин, фенольні речовини, харчові волокна). Вони теж є компонентами, що обумовлюють структуру білково-ягідного згустку термокислотного способу осадження.

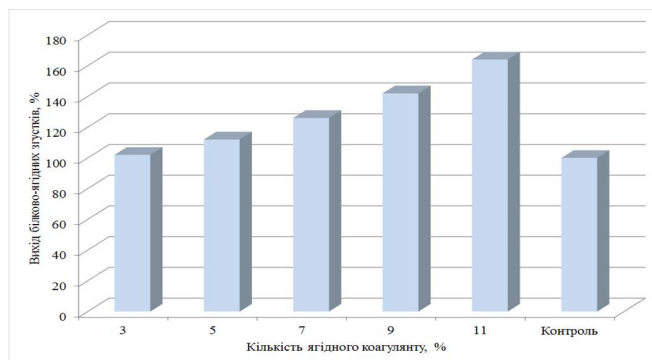


Рис. 2. Залежність виходу БЯЗ від кількості ягідного коагулянту

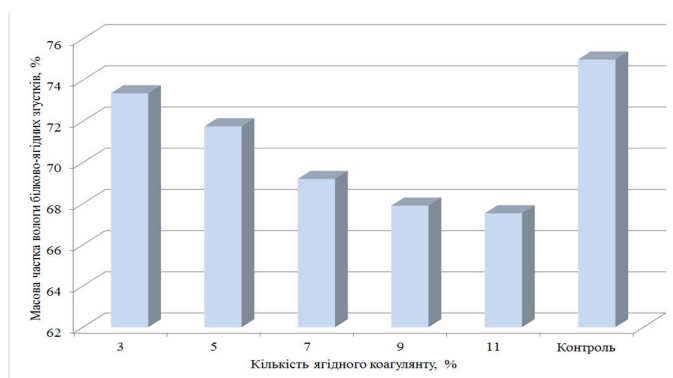


Рис. 3. Залежність масової частки води БЯЗ від кількості ягідного коагулянту

За розрахунками коефіцієнт переходу структуроутворюючих речовин з додаванням 11% ягідного коагулянту до знежиреного молока становив близько 25%, що на (8,2...10,8) % вище, ніж при додаванні 3%. Під час зберігання масова частка води білково-ягідних згустків коливалась у межах від 67,5 до 77,0% що не перевищувало нормативний рівень даного показника 80,0% [11].

Білково-ягідні згустки, отримані за розробленою технологією, характеризувались органолептичними показниками, зазначеними у табл. 2.

Досліджували зміну якісних показників отриманих модельних зразків білково-ягідних згустків протягом 72 год зберігання за температури  $4 \pm 2^\circ \text{C}$ . Зміна активної кислотності та вологоутримуючої здатності БЯЗ представлені на рис. 4 та 5 відповідно.

Таблиця 2. Органолептичні показники білково-ягідних згустків

Технологічні параметри виробництва білково-ягідних згустків			Органолептичні показники продукту			Застосування
Кількість внесення як з рН 2,6±0,2, %	Активна кислотність суміші, рН	Температура коагуляції, °С, і тривалість, хв	Консистенція та зовнішній вигляд	Смак і аромат	Колір	
3	6,4	75±1; 2±1	Однорідна, мастка, не сформована, з незначними включеннями ягідного коагулянту	Чистий, молочний, із легким ароматом ягідного коагулянту	Ледь помітний блідо-фіолетовий, рівномірний за всією масою	Для виробництва сиркових виробів
5	6,25		Однорідна, ніжна, помірно мастка з незначними включеннями ягідного коагулянту	У міру відчутний смак та аромат ягідного коагулянту	Світло-фіолетовий, рівномірний за всією масою	Для виробництва сиркових виробів і напів-фабрикатів
7	6,0		Однорідна, ніжна, розсипчаста із включеннями ягідного коагулянту	Виражений смак та аромат ягідного коагулянту	Від світло-фіолетового до яскраво-фіолетового, рівномірний за всією масою	
9	5,85					
11	5,6					

Активна кислотність білково-ягідних згустків прямо пропорційно залежить від величини рН ягідного коагулянту та кількості його внесення. Так, зразок, який містить 11% ягідного коагулянту має найнижчий показник активної кислотності 5,25 на початку та 5,07 в кінці терміну зберігання. Для контролю та всіх зразків БЯЗ зниження активної кислотності відбувалось на 0,15...0,23. Це дає можливість стверджувати, що використання різної кількості ягідного коагулянту майже не впливає на даний показник в процесі зберігання.

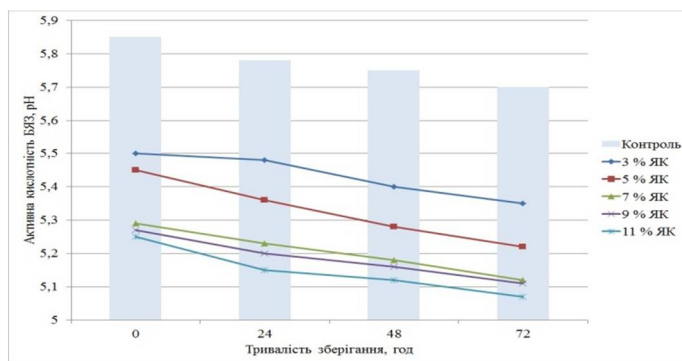


Рис. 4. Зміна активної кислотності БЯЗ при зберіганні

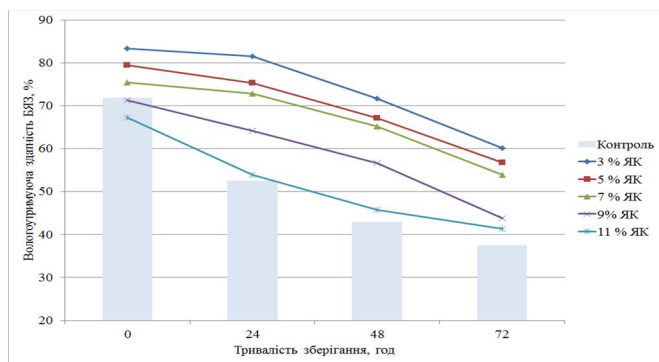


Рис. 5. Зміна вологостримуючої здатності БЯЗ при зберіганні

Середнє значення ВУЗ отриманих БЯЗ —  $(75,62 \pm 0,1)$  %. Ягідний коагулянт знижує вологостримуючу здатність модельних зразків на 4% відповідно до кількості внесення, але під час зберігання спостерігається його стрімке зниження. Для модельних зразків БЯЗ в кінці зберігання показник вологостримуючої здатності коливався на рівні від 41,35 до 60,15%, що в середньому на 23,69% вищий ніж у контролі.

Отже, використання ягідної сировини як коагулянту не погіршує якісні показники БЯЗ. Білково-ягідні згустки мають знижений вміст води та підвищену вологостримуючу здатність порівняно з контролем за рахунок вмісту в них пектинових речовин і харчових волокон, що зв'язують воду. Режими термокислотного осадження сприяють активній технологічній дії ягідного компоненту.

За результатами досліджень була розроблена технологія білково-ягідних згустків з підвищеною біологічною цінністю, яка передбачає послідовне здійснення операцій, зазначених на рис. 6.

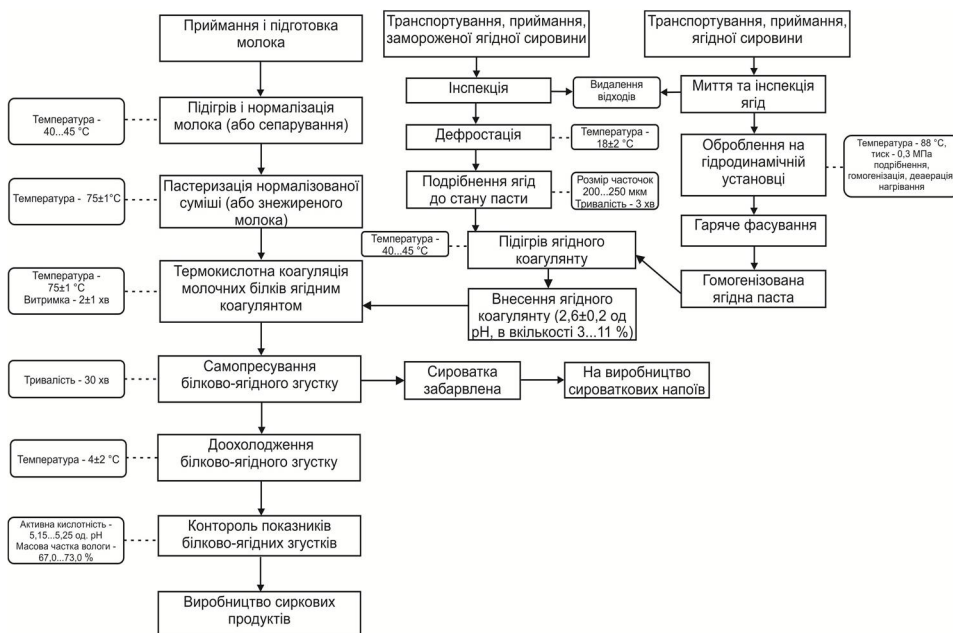


Рис. 6. Технологічна схема отримання білково-ягідних згустків

**Висновки.** Обґрунтовано можливість використання паст (гомогенізованої стерилізованої або свіжовиготовленої із дефростованих подрібнених ягід) як ягідного коагулянту для отримання згустків способом термокислотної коагуляції молочних білків.

Встановлено технологічні параметри процесу термокислотної коагуляції — температура осадження білків молока ( $75 \pm 1$ ) °С, витримка ( $2 \pm 1$ ) хв, кількість ягідного коагулянту від 3 до 11% (залежно від подальшого використання згустку) з активною кислотністю ( $2,6 \pm 0,2$ ).

Використання ягідного коагулянту, який містить забарвлені речовини, надає білковим згусткам і сироватці фіолетового кольору різних відтінків, залежно від кількості внесення виключає використання харчових барвників. Розроблена технологія отримання БЯЗ дає змогу шляхом комбінування молочної і ягідної сировини збільшити вихід готового продукту, розширити асортимент сиркових продуктів і сироваткових напоїв.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Макаркина М.А.* Характеристика сортов смородины чёрной по содержанию сахаров и органических кислот / М.А. Макаркина, Т.В. Янчук // Современное садоводство. — 2010. — № 2. — С. 9—12.
2. *Шевчук Л.М.* Якість ягід чорної смородини в Прикарпатті / Л.М. Шевчук // Українська академія аграрних наук. — 2008. — № 10. — С. 24—26.
3. *Щетинин М.П.* Творожный продукт с ягодными компонентами / М.П. Щетинин, О.В. Кольтюгина, А.А. Косынкина // Молочная промышленность. — 2011. — № 10. — С. 58.
4. *Авдеева Ю.В.* Сырье для производства замороженных десертов из черной смородины / Ю.В. Авдеева // Достижения науки и техники АПК. — 2011. — № 7. — С. 79—80.
5. *Петрова С.Н.* Состав плодов и листьев смородины черной / С.Н. Петрова, А.А. Кузнецова // Химия растительного сырья. — 2014. — № 4. — С. 43—50.
6. *Иващенко К.Ю.* Удосконалення технології гомогенізованих фруктових продуктів з використанням гідродинамічного оброблення: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.18.13. «Технологія консервованих і охолоджених харчових продуктів» / Иващенко Катерина Юріївна; НУХТ. — К., 2015. — 20 с.
7. *Grek O.* Optimization of the composition of the mixture by simplex method / O. Grek, O. Onopriichuk, A. Tymchuk // Ukraine Food Journal. — 2015. — Volume 4(1). — P. 50—59.
8. *Grek O.* The rationalization of the parameters of milk proteins' thermo acid coagulation by berry coagulants / O. Grek, O. Onopriichuk, T. Pshenychna // Food and Environment Safety, Volume XVI, Issue 1 — 2017. — P. 47—53.
9. Практикум з технології молока та молочних продуктів: Навч. посіб. / О.В. Грек, Н.М. Ющенко, Т.Г. Осьмак та ін. — К. : НУХТ, 2015. — 431 с.
10. The influence of berry puree on microbiological indicators of cheese product during the storage / O. Grek, T. Pshenychna, O. Krasulya et all // Food and Environment Safety, Volume XV, Issue 4 — 2016, P. 334—340.
11. ДСТУ 4554:2006. Сир кисломолочний. Технічні умови. Видання офіційне [Текст]. — Київ : Держспоживстандарт України, 2007. — 10 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ БЕЛКОВО-ЯГОДНЫХ СГУСТКОВ ИЗ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

**Е.В. Грек, Е.О. Оноприйчук, Т.В. Пшеничная**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье разработана технология получения белково-ягодных сгустков термокислотным осаждением молочных белков, особенностью которой является*

*применение ягодного сырья в качестве коагулянта. Определена температура тепловой обработки на уровне  $(75\pm 1)$  °С с выдержкой  $(2\pm 1)$  мин. Рассмотрено влияние ягодного коагулянта на процесс образования белково-ягодных сгустков и изменение их физико-химических показателей при хранении. Результаты исследований показали, что внесение ягодного коагулянта в количестве от 3 до 11% обеспечивает эффективное проведение процесса термокислотной коагуляции и получения сгустков соответствующего качества.*

**Ключевые слова:** *белково-ягодный сгусток, ягодный коагулянт, термокислотная коагуляция, изменение показателей качества белково-ягодных сгустков при хранении.*

УДК 664.

## STUDIES OF LOW-TEMPERATURE REGIMES OF SLOW PROOFING DOUGH PIECES

V. Yurchak, V. Rak, A. Копуца  
National University of Food Technology  
S. Palyvoda  
Ltd. «Lesaffre Ukraine»

---

**Key words:**

retarded fermentation,  
technological parameters,  
quality of products,  
improvers.

**Article history:**

Received 04.10.2017  
Received in revised form  
28.10.2017  
Accepted 01.11.2017

**Corresponding author:**

alexgraves2@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Regularities of the impact of parameters of slow dough pieces proofing at a temperature of 8—12° C, the dosage of yeast and various improvers on the quality of finished products, the properties of gluten, gas formation and gas containment in the dough were defined in the work. It has been attested that in case of a slow dough pieces proofing for the purpose of limitation of gluten proteins' proteolysis, it is necessary to reduce the amount of yeast to 0.8%. The use of "Magimix" improvers in case of low temperatures application enhances the growth of the gas formation rate in the dough pieces and gas-retaining capacity. The best quality of products is achieved in case of proofing of the dough pieces at a temperature of 12° C for 15 hours, 1.2% yeast dosage and the usage of "Magimix" violet or light blue at the dosage of 0.5—1.0%.

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ СПОВІЛЬНЕНОГО ВИСТОЮВАННЯ ТІСТОВИХ ЗАГОТОВОК

В.Г. Юрчак, д-р. техн. наук  
В.П. Рак, канд. техн. наук  
А.О. Копиця  
Національний університет харчових технологій  
С.Д. Паливода, канд. техн. наук  
ТОВ «Лесафр Україна»

У статті встановлено закономірності впливу параметрів сповільненого вистоювання тістових заготовок при виробництві хлібобулочних виробів за температури 8—12° C, дозування дріжджів і різних поліпшувачів на якість готових виробів, властивості клейковини, газоутворення та газоутримувannya в тісті. Доведено, що у разі сповільненого вистоювання тістових заготовок для обмеження протеолізу білків клейковини необхідно знижувати кількість дріжджів до 0,8%. Використання поліпшувачів «Мажімікс» у разі застосування низьких температур вистоювання сприяє зростанню показника газоутворення в тістових заготовках і газоутримувальної здатності. Краща якість виробів досягається у разі вистоювання тістових заготовок за температури 12° C протягом 15 год та дозування дріжджів 1,2% і використання поліпшувачів «Мажімікс» з фіолетовою або голубою етикеткою у кількості 0,5—1,0%.



**Ключові слова:** сповільнене вистоювання, технологічні режими, якість виробів, поліпшувачі.

**Постановка проблеми.** У європейських країнах з розвинутою технікою і технологією в хлібопекарській промисловості широко застосовуються різні способи низькотемпературного вистоювання тістових заготовок для так званого відкладеного випікання хлібобулочних виробів. Споживачі традиційно любляють свіжі вироби вранішньої випічки. Проте малі переробні підприємства, зазвичай, не працюють в нічну зміну. Такі підприємства застосовують технології заблокованого вистоювання тістових заготовок, контрольованого вистоювання або сповільненого вистоювання [1; 3].

Заблоковане вистоювання полягає в тому, що у тістових заготовках, вистояних при звичайних режимах на 60—70% готовності, блокується процес бродіння зниженням температури до 0...+4° С. Таким чином, перенести процес випікання можна на 2—6 годин.

Технологія контрольованого вистоювання передбачає охолодження тістових заготовок після формування. Тістові заготовки поміщають у спеціальну шафу остаточного вистоювання за температури +2...+4° С на термін до 72 годин. Далі потрібно підняти температуру у вистійній шафі і продовжити звичайний технологічний процес.

Найбільш поширеним способом низькотемпературного вистоювання в європейських пекарнях є сповільнене вистоювання. Технологія полягає у тривалому вистоюванні тістових заготовок протягом 5—20 годин за температури +8...+12° С.

Такі технології вистоювання тістових заготовок можна застосовувати за різних способів тістоприготування (опарного, безопарного), різного тістомісильного обладнання, різноманітних способів формування. Проте технологічні режими приготування тіста слід корегувати. В цьому випадку суттєве значення має дозування дріжджів, використання різних поліпшувачів, вибір оптимальної тривалості вистоювання за різної температури.

Для управління технологічним процесом технолог повинен знати закономірності перебігу процесу вистоювання за різних параметрів, розуміти, якими змінами у білково-протеїназному та вуглеводно-амілазному комплексах борошна зумовлена якість таких виробів. Однак дослідження вітчизняних вчених з цього питання практично відсутні. Дані зарубіжних авторів дуже обмежені та неадаптовані до вітчизняних технологій.

**Мета дослідження:** обґрунтувати вибір раціональних параметрів сповільненого вистоювання тістових заготовок, дозування дріжджів і використання поліпшувачів та вивчити їх вплив на якість виробів, зміни в білково-протеїназному й вуглеводно-амілазному комплексах тіста.

**Матеріали і методи.** Дослідження здійснювали для виробництва багетів масою 120 г (напівбагетів). У першій серії дослідів вивчали вплив температури вистоювання 8° С та 12° С за дозування дріжджів 0,8% та 1,2% та вплив поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою на якість виробів. Тривалість вистоювання за температури 8° С становила 18 год, за температури 12° С—15 год.

За контроль приймали тістові заготовки, які вистоювались до готовності за температури 32° С. Дозування дріжджів становило 2%. Усі зразки тіста готували як без поліпшувача, так і з поліпшувачем. Якість виробів оцінювали за формою, забарвленням, ступенем розпушеності та станом пористості, а також за їх питомим об'ємом.

У другій серії дослідів вивчали вплив різних поліпшувачів виробництва французької компанії Lesaffre — «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою, «Мажимікс» з голубою етикеткою та «Мажимікс» — контроль на якість виробів [2]. Дозування поліпшувачів обирали відповідно до рекомендацій виробника — 0,5%, 1,0% і 2,0% відповідно. До складу поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою входять як стабілізатор карбонат кальцію, емульгатор E472e, антиоксидант аскорбінова кислота та ферменти гідролітичної дії — амілази й геміцелюлази. «Мажимікс» з голубою етикеткою містить ті ж компоненти та ще суху пшеничну клейковину. Отже, ці поліпшувачі інтенсифікують біохімічні процеси в тісті, сприяють укріпленню клейковини і, в останньому випадку, збільшують її кількість у тісті. Поліпшувач «Мажимікс» - контроль містить пшеничне борошно, глюкозу, емульгатори E472e та E471, клейковину, камедь гуара, стабілізатори: E450i, E341; пшеничний солод, дезактивовані дріжджі, аскорбінову кислоту, ферменти. Досліджували також вплив параметрів вистоювання, дозування дріжджів і поліпшувачів на властивості клейковини, газоутворювальну та газоутримувальну здатність тіста [4].

**Результати досліджень.** Результати дослідження впливу температури, кількості дріжджів і поліпшувача на якість виробів наведені в табл. 1.

Аналіз досліджуваних зразків показав, що вироби за традиційного вистоювання мали світло-жовтий колір, гарну розпушеність, дрібну й тонкостінну пористість, гладеньку скоринку як у разі застосування поліпшувача, так і без нього.

*Таблиця 1. Вплив температури, кількості дріжджів і поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою на якість виробів*

Показники якості	Температура і тривалість вистоювання				
	32° С, 53 хв (контроль)	8° С, 18 год		12° С, 15 год	
	Дозування дріжджів, %				
	2,0	0,8	1,2	0,8	1,2
Вироби без поліпшувача					
Колір	світло-жовтий	світло-коричневий		світло-коричневий	
Розпушеність	висока	незадовільна		недостатня	
Стан пористості	дрібна, тонкостінна	нерівномірна, товстостінна			
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /100г	457	300	270	295	225
Вироби з поліпшувачем «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою					
Колір	світло-жовтий	світло-коричневий		світло-коричневий	світло-жовтий
Розпушеність	висока	достатня	висока	висока	
Стан пористості	дрібна, тонкостінна	нерівномірна	дрібна, тонкостінна	дрібна, тонкостінна	
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /100г	497	347	454	389	476

Вироби зі сповільненим вистоюванням тістових заготовок без застосування поліпшувача мали світло-коричневий колір, що свідчить про недостатнє збродження цукрів, незадовільну розпушеність, нерівномірну й товстостінну пористість, пухирці на поверхні. Питомий об'єм цих виробів був у 1,5 раза нижчим,

ніж у контролі, і практично однаковим за дозування дріжджів 0,8% у разі температури вистоювання 8° С і 12° С та тривалості 18 і 15 годин відповідно. Збільшення дозування дріжджів до 1,2% не тільки не давало позитивного ефекту, але й призводило до ще більшого зниження питомого об'єму виробів. Імовірно, це можна пояснити значним протеолізом білкових речовин при тривалому вистоюванні, а збільшення дозування дріжджів посилює цей процес і викликає зниження газотримувальної здатності тістових заготовок.

Використання поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою сприяє поліпшенню розпушеності виробів, стану пористості, збільшенню питомого об'єма хліба. Проте колір виробів у більшості зразків залишався світло-коричневим, яскравим. Об'єм виробів завдяки використанню поліпшувача збільшувався за дозування дріжджів 0,8% і температури 8° С — майже на 16% і 12° С — на 32%. У цьому випадку збільшення дозування дріжджів до 1,2% не призводить до зменшення питомого об'єму виробів, а навпаки — сприяє збільшенню питомого об'єму виробів у 1,5—1,8 раза порівняно з виробами без поліпшувача і досягає якості контрольних зразків без поліпшувача. Очевидно, краща якість дослідних зразків виробів є наслідком впливу поліпшувачів, перш за все на стан клейковини та газотримувальну здатність тіста.

Дослідження впливу дріжджів і внесення поліпшувача на стан клейковини при сповільненому вистоюванні здійснювали для тістових заготовок, що вистоювались протягом 15 год за температури 12° С без дріжджів (зразок № 2), з внесенням 1,2% дріжджів (зразок № 3), з внесенням 1,2% дріжджів і 0,5% поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою (зразок № 4) і порівнювали з якістю клейковини борошна (контроль) та зі станом клейковини при вистоюванні за традиційних режимів — протягом 1 год за температури 32° С і з дозуванням дріжджів у тісто 2,0% (зразок № 1). Результати цього дослідження наведені в табл. 2.

Встановлено, що витримування тістових заготовок за температури 12° С протягом 15 год (зразок № 2) призводить до зниження кількості сирової і сухої клейковини, збільшення її гідратації і незначного укріплення за показником ВДК (вимірювання деформації клейковини). Ці зміни клейковини, що відбуваються під дією ферментів борошна протягом 15 год за температури 12° С менші, ніж при традиційному вистоюванні тістових заготовок. У зразку №1 з використанням 2% дріжджів при температурі 32° С протягом 1 години більш суттєво знижується кількість сирової та сухої клейковини, що свідчить про гідроліз білків, які утворюють клейковину, вона ще більше укріплюється. Розпливання кульки тіста з дріжджами вище, ніж тіста без дріжджів, що також підтверджує посилення гідролізу білків у тісті з дріжджами. Використання поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою у кількості 0,5 % суттєво не впливає на кількість і якість клейковини, хоча наявність у його складі аскорбінової кислоти мало б сприяти укріпленню клейковини. Імовірно, збільшення питомого об'єму виробів з поліпшувачем зумовлене наявністю в його складі емульгатора та зростанням еластичності тіста.

Вивчення впливу різних поліпшувачів на якість виробів проводили за сповільненого вистоювання при температурі 1° С і тривалості вистоювання 15 год, дозування дріжджів у тісто для зразків з поліпшувачами становило 1,2%. За контроль приймали якість виробів без поліпшувача з дозуванням дріжджів 0,8%.

Таблиця 2. Вплив дріжджів і поліпшувача «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою на кількість та якість клейковини

Показники	Клейковина борошна (контроль)	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4
		$G_{др} = 2,0\%$ $\tau_{вист} = 1 \text{ год}$ $t_{вист} = 32^\circ \text{ C}$	$G_{др} = 0\%$ $\tau_{вист} = 15 \text{ год}$ $t_{вист} = 12^\circ \text{ C}$	$G_{др} = 1,2\%$ $\tau_{вист} = 15 \text{ год}$ $t_{вист} = 12^\circ \text{ C}$	$G_{др} = 1,2\%$ , $G_{поліп} = 0,5\%$ , $\tau_{вист} = 15 \text{ год}$ $t_{вист} = 12^\circ \text{ C}$
1	2	3	4	5	6
Вміст сирової клейковини, %	24,7	22,4	24,0	22,0	22,1
Масова частка вологи, %	66,1	67,0	68,6	68,2	67,4
Вміст сухої клейковини, %	8,36	7,40	7,54	7,00	7,20
Гідратаційна здатність, %	195,3	203,5	218,7	214,5	206,3
ВДК, умов. од.	86	80	82	67	70
Розтяжність	15	15	15	14	14
Еластичність	хороша	хороша	хороша	хороша	хороша
Розпливання кульки тіста, см	—	5,8	5,6	5,7	5,6
Діаметр початк. кінцевий	—	7,6	6,7	7,0	7,4

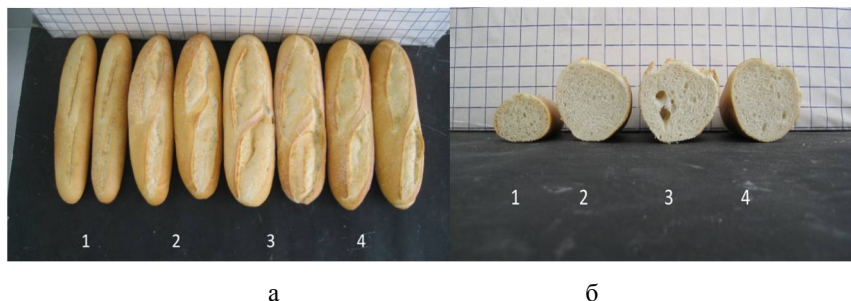
Порівняння впливу різних поліпшувачів на якість виробів показало (табл. 3, рис. 1), що колір, розпушеність, об'єм виробів з поліпшувачами були кращими. Об'єм виробів з поліпшувачами «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою, «Мажимікс»-контроль і «Мажимікс» з голубою етикеткою зростає відповідно на 48,6%, 80,0 та 67,6%. Проте пористість виробів з «Мажимікс»-контроль була значною і нерівномірною. Отже, найкращу якість виробів забезпечує використання поліпшувача «Мажимікс» з голубою етикеткою за дозування 1,0%, суттєве поліпшення якості виробів досягається також за використання «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою з дозуванням 0,5% до маси борошна.

Таблиця 3. Вплив різних поліпшувачів на якість готових виробів при застосуванні сповільненого вистоювання.

Показник	Контроль $G_{др} = 0,8\%$	«Мажимікс» з фіолетовою етикеткою	«Мажимікс»-контроль	«Мажимікс» з голубою етикеткою
		$G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 0,5\%$	$G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 2,0\%$	$G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 1,0\%$
1	2	3	4	5
Колір	світло-коричневий		світло-жовтий	
Розпушеність	недостатня		хороша	
Стан пористості	рівномірна		нерівномірна	рівномірна
Питомий об'єм, $\text{см}^3/100 \text{ г}$	370	550	667	620

Визначення показників газоутворення в тісті та його газотримувальної здатності в тістових заготовках за температури  $12^\circ \text{ C}$  показало (табл. 4), що різні поліпшувачі, хоч і незначно, підвищують газоутворення в тісті, при чому в найбільшій мірі це стосується поліпшувача «Мажимікс»-контроль. Газотримувальна здатність також найвища у тісті з «Мажимікс»-контроль і становить

365 см<sup>3</sup>/100 г. Очевидно, якраз поєднання високої газоутворювальної та газотримувальної здатності тіста з поліпшувачем «Мажимікс»-контроль і призводить до утворення крупної й нерівномірної пористості виробів. У тісті з іншими поліпшувачами газотримувальна здатність за 4 год становить 350см<sup>3</sup>/100 г для «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою та 328 см<sup>3</sup>/100 г для «Мажимікс» з голубою етикеткою, що на 28,6% та на 17,1% відповідно більше, ніж у контролі. Саме досягненням вищого газоутворення та вищої газотримувальної здатності цих зразків тіста можна пояснити кращий об'єм виробів у порівнянні з контролем.



**Рис. 1. Вироби, виготовлені із застосуванням сповільненого вистоювання тістових заготовок:** 1 — без використання поліпшувачів; 2 — з використанням «Мажимікс» з фіолетовою етикеткою; 3 — з «Мажимікс»- контроль; 4 — з «Мажимікс» з голубою етикеткою; а — зовнішній вигляд; б — зображення стану пористості виробів

**Таблиця 4. Вплив різних поліпшувачів на газоутворення та газотримування в тісті**

Показники	Контроль 1 (без поліпшувача) $G_{др} = 2,0\%$ $t = 32^{\circ} C$	Контроль 2 (без поліпшувача) $G_{др} = 1,2\%$	«Мажимікс» з фіолетовою етикеткою $G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 0,5\%$	«Мажимікс»- контроль $G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 2,0\%$	«Мажимікс» з голубою етикеткою $G_{др} = 1,2\%$ $G_{поліп} = 1,0\%$
	2	3	4	5	6
Газоутворення за 5 год, см <sup>3</sup> /100 г	1360	1334	1344	1380	1359
Газотримування, см <sup>3</sup> /100 г, за тривалості бродіння, хв					
0	87	87	87	87	87
30	140	132	125	115	128
60	190	175	170	157	165
90	220	222	192	213	222
120	230	235	270	283	228
150	260	258	327	305	290
180	280	268	360	365	305
210	285	280	355	365	315
240	290	280	350	365	338
270	285	270	345	358	328

### Висновки.

1. Встановлено, що у разі застосування сповільненого вистоювання тістових заготовок за температури 8° С...12° С протягом 15—18 год необхідно знижувати дозування дріжджів менше 1,0% (до 0,8%). Проте без застосування поліп-

шувача якість виробів погіршується, а питомий об'єм зменшується у 1,5 раза порівняно з виробами з традиційним вистоюванням.

2. Зниження питомого об'єму виробів у разі сповільненого вистоювання тістових заготовок за температури 8° С...12° С протягом 15—18 год є наслідком зниження газоутворення в тісті за низької температури та зниження кількості сирої і сухої клейковини у тісті в результаті тривалого протеолізу білків клейковини.

3. Використання поліпшувачів «Мажимікс» у разі застосування низьких температур вистоювання сприяє зростанню показника газоутворення в тістових заготовках і газотримувальної здатності, що забезпечує значне збільшення об'єму виробів, поліпшення кольору, розпушеності та стану пористості.

4. Найкращий позитивний ефект досягається у разі використання поліпшувача «Мажимікс» з голубою етикеткою, що містить ферменти гідролітичної дії, емульгатор Е472е, аскорбінову кислоту та суху пшеничну клейковину.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ковэн С. Технологии хлебопечения / С. Ковэн. — Пер. с англ. — СПб. : Профессия, 2017. — 416 с.

2. Производство изделий из замороженного теста / К. Кульман, К. Лоренц, Ю. Брюммер (ред.); пер. с англ. под общ. ред. И.В. Матвеевой. — СПб. : Профессия. — 2005. — 288 с.

3. Технология отложенной выпечки. Хлебопекарный центр Lesaffre Group [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.Lesaffre.ru/safcenter/technology/delayed\\_half-bakig.hunl](http://www.Lesaffre.ru/safcenter/technology/delayed_half-bakig.hunl).

4. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв : 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.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ЗАМЕДЛЕННОЙ РАССТОЙКИ ТЕСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

В.Г. Юрчак, В.П. Рак, А.О. Копица

Национальный университет пищевых технологий

С.Д. Паливода

ООО «Лесафр Украина»

*В статье установлены закономерности влияния параметров замедленной расстойки тестовых заготовок при производстве хлебулочных изделий: температуры 8—12° С, дозировки дрожжей и улучшителей на качество готовых изделий, свойства клейковины, газообразование и газодерживающую способность теста. Доказано, что при замедленной расстойке тестовых заготовок для ограничения протеолиза белков клейковины необходимо уменьшать количество вносимых дрожжей до 0,8 %. Использование улучшителей «Мажимикс» в случае применения низких температур расстойки способствует увеличению показателя газообразования в тестовых заготовках и газодерживающей способности. Лучшее качество изделий достигается при расстойке с температурой 12° С в течение 15 час, дозировке дрожжей 1,2% и использовании улучшителей «Мажимикс» с фиолетовой или голубой этикеткой в количестве 0,5—1,0%.*

**Ключевые слова:** замедленная расстойка, технологические режимы, качество изделий, улучшители.

УДК 66.081.6: 637.142.2

## MODELLING OF DIANANOFILTRATION PROCESS OF WHEY

Yu. Zmievskii

National University of Food Technology

---

**Key words:**nanofiltration,  
diananofiltration,  
demineralization,  
membrane.**Article history:**Received 15.04.2017  
Received in revised form  
15.05.2017  
Accepted 10.06.2017**Corresponding author:**

yrazm@meta.ua

**ABSTRACT**

In the presented work, using mathematical modeling, a rational relationship between the amount of water that is continuously added to the whey and the amount of permeate is determined. It was established that there is proportionality between the processing time and the amount of added water, characterized by coefficient  $\alpha$ . It should be less than 0.77. Otherwise, the processing time increases significantly, which may worsen the economic indicators. Theoretical calculations were verified experimentally. This made it possible to obtain a concentrate of whey demineralized by 62%. It is 36% more than for traditional technology. However, in this case the permeate is generated in 2.27 times more, that also should be considered. A conclusion is drawn about the prospects of using this approach in industrial conditions.

---

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДІАНАНОФІЛЬТРАЦІЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

Ю.Г. Змієвський, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті методом математичного моделювання визначено раціональне співвідношення між кількістю води, що безперервно додається у молочну сироватку, та кількістю пермеату. Теоретичні результати були перевірені експериментально на лабораторній установці проточного типу. Це дало змогу отримати концентрат молочної сироватки, демінералізований на 62%, що на 36% більше від традиційної технології. Зроблено висновок про перспективність застосування такого підходу за промислових умов.

**Ключові слова:** нанофільтрація, діафільтрація, демінералізація, мембрана.

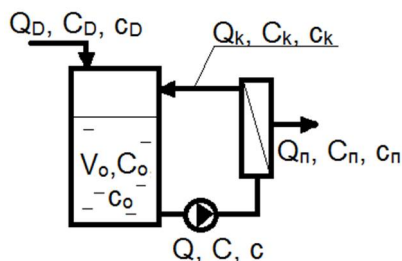
**Постановка проблеми.** Мембранні процеси широко застосовуються у технологіях харчових виробництв [1—3], адже дають змогу отримувати концентрати цільових компонентів та очищати їх від баластних сполук [4—6]. Це відбувається за низьких температур і без фазових переходів розчинника, що зберігає нативні властивості речовин та зменшує енерговитрати на переробку. Останнім часом при виробництві концентратів сироваткових білків ультрафільтрацією застосовують процес діафільтрації [7; 8], який надає можливість очистити розчин від мінеральних речовин, лактози, молочної кислоти тощо. Принцип діафільтрації побудований на різній селективності мембран до високомолекулярних (як правило, це цільові компоненти) та низькомолекулярних сполук (баластні компоненти). Під час концентрування у розчин періодично чи безперервно додають

задану кількість демінералізованої води, яка розбавляє розчин і таким чином вимиває низькомолекулярні сполуки при подальшому продовженні процесу. Саме кількість доданої води суттєво впливає на економічні показники та якість кінцевого продукту. Більшість наукових публікацій присвячена дослідженню процесу ультрафільтрації. Однак перспективним можна вважати застосування процесу діафільтрації при нанофільтраційному розділенні [9—11].

Пошук раціонального співвідношення добавленої води до кількості утвореного пермеату експериментальним шляхом є трудомістким і довготривалим процесом. Зважаючи на викладене вище, **метою дослідження** є математичне моделювання процесу діананофільтрації та експериментальна перевірка отриманих результатів, що дасть змогу скоротити кількість експериментів і більш раціонально використовувати наявні матеріальні ресурси.

**Математична модель.** Схематично процес діафільтрації представлено на рис. 1, де також наведені основні позначення матеріальних потоків. Приймаємо, що вихідний розчин насосом подається в мембранний модуль, де відбувається розділення на концентрат (ретентат) і пермеат (фільтрат). Концентрат повертається у ємність, куди в певний проміжок часу або неперервно додається демінералізована вода для розбавлення розчину. Як правило, ця вода отримується за допомогою зворотного осмосу і вміст сухих речовин у ній практично дорівнює нулю. Потік пермеату  $Q_p$  приймаємо постійним, адже більшість сучасних установок працюють саме за таких умов, коли прилади автоматичного контролю збільшують або зменшують робочий тиск для забезпечення стабільної продуктивності. У випадку, коли  $Q_D = Q_p$ , зміни об'єму розчину в системі не відбуватиметься, тобто

$$\frac{dV}{dt} = 0. \quad (1)$$



**Рис. 1.** Принципова схема процесу діафільтрації:

$Q$  — об'ємний потік розчину,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C$  — концентрація високомолекулярних сполук, які добре затримуються мембраною,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  — концентрація низькомолекулярних сполук, які легко проходять крізь мембрану,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; індекси  $o, D, k, p$  — визначають тип розчину і відносяться до початкового розчину, діафільтраційної води (вода, що додається для розбавлення розчину), концентрату та пермеату відповідно

Однак у переважній більшості випадків  $Q_D < Q_p$ , що може бути виражено через відповідний коефіцієнт пропорційності  $\alpha$  [11—13]:

$$\alpha = \frac{Q_D}{Q_p}. \quad (2)$$



Тоді зміна об'єму ( $V$ ) розчину з часом ( $t$ ) буде описуватись рівнянням 3:

$$\frac{dV}{dt} = Q_D - Q_n = Q_n \cdot (\alpha - 1). \quad (3)$$

Запишемо матеріальний баланс для сполук з великою молекулярною масою, які добре затримуються мембраною (селективність мембрани по цим компонентам  $R > 0,9$ ):

$$\frac{d(V \cdot C)}{dt} = -Q_n \cdot C_n = -J \cdot F \cdot C \cdot (1 - R), \quad (4)$$

де  $J$  — питома продуктивність мембрани,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ с})$ ;  $F$  — площа мембран,  $\text{м}^2$ ;  $R$  — селективність мембрани по високомолекулярним сполукам, од.

Звідки

$$V \cdot \frac{dC}{dt} + C \cdot \frac{dV}{dt} = -J \cdot F \cdot C \cdot (1 - R). \quad (5)$$

Поділимо ліву і праву частину на  $V \cdot C$  і після перестановки змінних отримаємо:

$$\frac{dC}{C} + \frac{dV}{V} = -\frac{J \cdot F \cdot (1 - R)}{V} \cdot dt. \quad (6)$$

Враховуючи, що

$$V = V_o - J \cdot F \cdot (1 - \alpha) \cdot t, \quad (7)$$

отримаємо:

$$\int_{C_o}^C d(\ln C) + \int_{V_o}^V d(\ln V) = -\int_0^{t_k} \frac{J \cdot F \cdot (1 - R)}{V_o - J \cdot F \cdot (1 - \alpha) \cdot t} \cdot dt. \quad (8)$$

Аналітичний розв'язок рівняння (8) був отриманий у [14] і має вигляд:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{\left(1 - \frac{J \cdot F \cdot (1 - \alpha) \cdot t}{V_o}\right)^{\frac{(R - \alpha)}{(1 - \alpha)}}}. \quad (9)$$

Час ( $t_{BMC}$ ), необхідний для отримання заданої концентрації  $C$  цільового компонента (високомолекулярних сполук (BMC)), може бути отриманий з рівняння 9:

$$t_{BMC} = \left[1 - \left(\frac{C}{C_o}\right)^{\frac{1 - \alpha}{R - \alpha}}\right] \cdot \frac{V_o}{J \cdot F \cdot (1 - \alpha)}. \quad (10)$$

Аналогічним буде виведення рівняння для низькомолекулярних (HMC) сполук, які погано затримуються мембраною і повинні бути видалені з розчину:

$$t_{HMC} = \left[ 1 - \left( \frac{c}{c_o} \right)^{\frac{1-\alpha}{r-\alpha}} \right] \cdot \frac{V_o}{J \cdot F \cdot (1-\alpha)}, \quad (10)$$

де  $c, c_o$  — концентрація низькомолекулярних сполук у певний момент часу та на початку процесу розділення відповідно,  $\text{кг/м}^3$ ;  $r$  — селективність мембрани по низькомолекулярним сполукам, од.

Враховуючи, що  $t_{BMC} = t_{HMC}$ , та зробивши відповідні скорочення, можна отримати рівняння взаємозв'язку між концентраціями низько- та високомолекулярних сполук:

$$\frac{c}{c_o} = \left( \frac{C}{C_o} \right)^{\frac{(r-\alpha)}{(R-\alpha)}}. \quad (11)$$

Таким чином, можна визначити коефіцієнт пропорційності  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{r \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C}\right) + R \cdot \ln\left(\frac{c}{c_o}\right)}{\ln\left(\frac{C_o}{C}\right) + \ln\left(\frac{c}{c_o}\right)}. \quad (12)$$

Для оцінки ступеня використання додаткової води під час процесу діафільтрації прийнято застосовувати відповідний коефіцієнт:

$$\beta = \frac{V_D}{V_o} = \frac{\alpha \cdot J \cdot F \cdot t}{V_o} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{C_o}{C} \right)^{\frac{1-\alpha}{R-\alpha}} \right], \quad (13)$$

де  $V_D$  — об'єм води, що подається для діафільтрації,  $\text{м}^3$ .

**Матеріали і методи досліджень.** Експерименти проводились на лабораторній установці проточного типу, принцип дії якої описано в [15]. Відмінністю було те, що у вихідну ємність насосом-дозатором додатково вводили необхідну кількість дистильованої води для реалізації процесу діананофільтрації. Застосовували мембрани ОПМН-П (НВП «Владипор», Росія). Робочим розчином була молочна сироватка з температурою  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ . Загальний вміст мінеральних речовин визначали кондуктометричним, а сухі речовини рефрактометричним методами, титровану кислотність загальнозживаним методом титрування.

**Результати та їх обговорення.** Для моделювання процесу діананофільтрації були обрані характеристики мембран марки ОПМН-П (НВП «Владипор», Росія), визначені нами раніше і опубліковані в [16, 17]. Вихідні дані, які використовувались при розрахунках, представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Початкові дані для розрахунків

$V_o, \text{м}^3$	$F, \text{м}^2$	$R, \%$	$r, \%$	$J, \text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$
1	10	95	50	0,02

При додаванні очищеної води у молочну сироватку відбувається її розбавлення, що має як позитивний, так і негативний моменти. З одного боку, зменшення вмісту сухих речовин призводить до зростання питомої продуктивності мембран за однакових умов і покращує ступінь очищення розчину. З іншого - зростає об'єм рідини, який необхідно пропустити крізь фільтрувальну перегородку (мембрану). Тому пошук раціонального співвідношення добавленої води до кількості отриманого пермеату, що характеризується коефіцієнтом  $\alpha$ , є важливим технічним завданням.

На рис. 2 показано, як змінюється час обробки молочної сироватки за умови дотримання параметрів, наведених у табл. 1, при різних значеннях  $\alpha$ . Видно, що за умови, коли  $\alpha = 0,77$  зберігається певна пропорційність між збільшенням тривалості процесу та кількістю води, що безперервно додається. При вищих значеннях  $\alpha$  час концентрування різко зростає, що може негативно вплинути не лише на економічні показники, але й на якість кінцевої продукції. Такий характер кривої можна пояснити практично повним вимиванням з розчину низькомолекулярних сполук, які перебувають у молочній сироватці в розчиненому стані. Пермеат за таких умов являє собою очищену воду, яка подавалась для діалізації з невеликою кількістю домішок, що легко проникають крізь мембрану. Подальше збільшення  $\alpha$  неефективне з економічної точки зору.

Аналогічний характер кривої спостерігається і на рис. 3, який показує в скільки разів збільшується об'єм пермеату (показник  $\beta$ ) залежно від  $\alpha$ . Якщо приймати  $\alpha = 0,77$  критичною точкою, вище якої проведення діалізації можна вважати недоцільним, то кількість пермеату порівняно з традиційною технологією (без додавання води) збільшується майже у 3 рази. Це необхідно враховувати при проведенні техніко-економічних розрахунків.

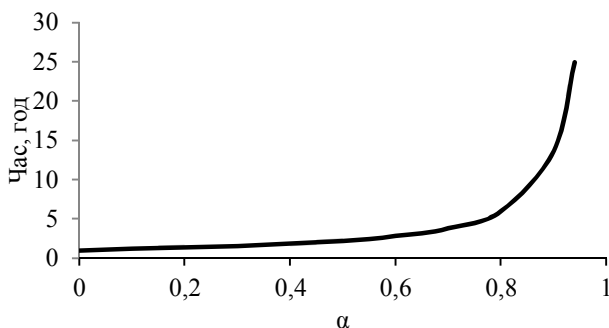


Рис. 2. Залежність тривалості обробки молочної сироватки від коефіцієнта  $\alpha$  при  $R = 0,95$

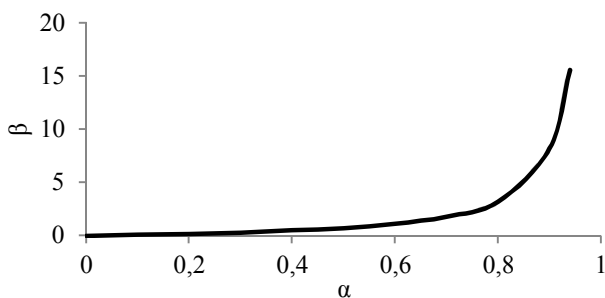


Рис. 3. Зміна показника об'єму пермеату ( $\beta$ ) залежно від  $\alpha$  при  $R = 0,95$

Також було проаналізовано зміну ступеня очистки розчину (характеризується співвідношенням  $c_o/c$ ) залежно від  $\alpha$  (рис. 4). За умови, що селективність мембрани по низькомолекулярним сполукам  $r = 0,5$  та  $\alpha = 0,77$ , ступінь очистки розчину дорівнює 5. В молочній сироватці початковий вміст мінеральних речовин приблизно рівний  $5 \text{ г/дм}^3$ . Отже, після діананофільтрації при  $\alpha = 0,77$  їх вміст зменшиться до  $1 \text{ г/дм}^3$ .

При  $\alpha = 0,8$  значно зростає величина співвідношення  $c_o/c$  при невеликому збільшенні  $\alpha$ . Однак це суттєво збільшує витрати води і тривалість процесу (рис. 2 і 3). Якщо селективність ( $r$ ) по низькомолекулярним сполукам підвищується, то зменшується степінь очистки за тих самих умов. Це дає змогу зробити висновок, що необхідно підбирати мембрани з мінімальним значенням  $r$  та максимальним  $R$ . У такому разі можна отримати концентрат цільових компонентів з достатньо високим рівнем очистки від баластних сполук. При цьому буде використовуватись менша кількість очищеної води для додавання у початковий розчин.

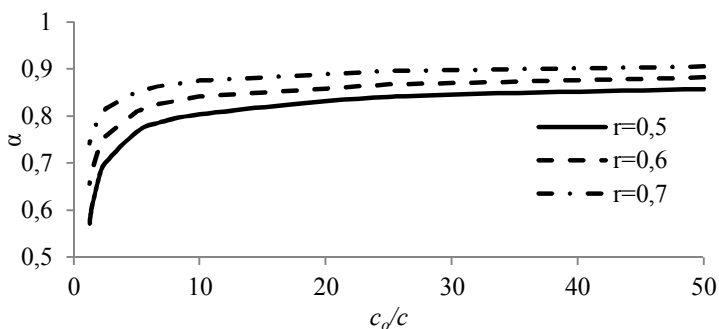


Рис. 4. Зміна коефіцієнта  $\alpha$  залежно від ступеня очистки ( $c_o/c$ ) розчину від баластних низькомолекулярних сполук при  $R = 0,97$

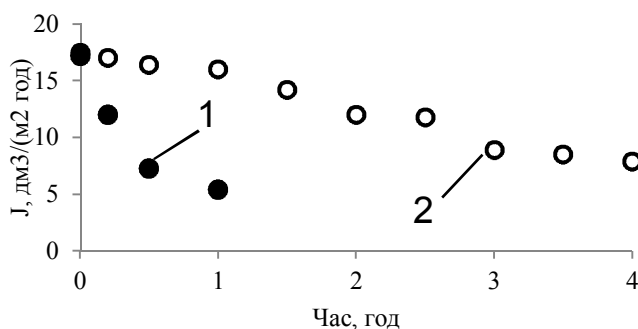


Рис. 5. Зміна питомої продуктивності  $J$  мембран ОПМН-П з часом при звичайній нанофільтрації (1) та діананофільтрації при  $\alpha = 0,77$  (2). Тиск  $0,8 \text{ МПа}$

Для підтвердження достовірності результатів, отриманих за допомогою математичного моделювання, були проведені спеціальні експериментальні дослідження (рис. 5). Спочатку молочна сироватка була сконцентрована майже у 2 рази без додавання дистильованої води. З табл. 2 та рис. 5 видно, що вміст сухих речовин збільшився з 5,7 до 14,2% всього за 1 годину. Проте питома продуктивність знизилась більш ніж у 3 рази (середнє значення  $J$  в межах  $10 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$ ). Після промивання мембрани розчином лимонної кислоти та відновлення її

проникності на 96%, було проведено процес діананофільтрації ( $\alpha = 0,77$ ), який тривав 4 години. За цей час було отримано пермеату у 2,27 раза більше, ніж при звичайному концентруванні. Однак питома продуктивність знизилась лише у 2 рази за весь час експерименту (середнє значення  $J$  в межах  $14 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \text{ год})$ ), що підтвердило попередні припущення про підвищенні значення  $J$  при діананофільтрації.

Селективність мембрани по мінеральним речовинам за умов експерименту становила  $r = 0,58$ . Відхилення між розрахунковими та експериментальними даними не перевищують 12,3%. Зазначена точність достатня для проведення інженерних розрахунків, застосовуючи наведену математичну модель.

Таблиця 2. Основні показники молочної сироватки до і після мембранного розділення

Показник	Нанофільтрація			Діананофільтрація		
	до	після		до	після	
		К	П		К	П
Вміст сухих речовин, %	5,7±0,2	14,2±1,0	0,46±0,05	5,7±0,2	13,8±1,0	0,31±0,05
Титрована кислотність, Т°	67±5	133±7	23±3	67±5	93±5	20±3
Загальний вміст мінеральних речовин, г	5,31	3,98	1,32	5,31	2,01	3,30
Демінералізація, %	—	26	—	—	62	—

Примітки: К — концентрат, П — пермеат

З табл. 2 видно, що вміст сухих речовин в отриманих концентратах майже однаковий, проте маса мінеральних речовин менша на 36% у зразку після діананофільтрації. Таким чином, можна стверджувати, що процес діананофільтрації доцільно застосовувати в технологіях переробки молочної сироватки, що дасть змогу значно зменшити вміст мінеральних речовин і кислотність. Особливо це ефективно для розділення сироватки з-під сиру кисломолочного, яка характеризується підвищеною кислотністю, що заважає на етапах згущення та сушіння. Процес діананофільтрації може бути альтернативою електродіалізу за умови, коли рівень демінералізації 50—60% є достатнім з технологічної точки зору.

**Висновки.** Методами математичного моделювання процесу діананофільтрації молочної сироватки визначено, що раціональним є безперервне додавання 77% очищеної води від об'ємного потоку пермеату. Достовірність модельованих результатів перевірена експериментально, похибка не перевищує 12,3%. У результаті діананофільтрації був отриманий концентрат, демінералізований на 62%, що на 36% більше від традиційної технології. Однак слід враховувати, що за нових умов утворилось у 2,27 раза більше пермеату, який слід переробляти.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review / [P. Kumar, N. Sharma, R. Ranjan та ін.] // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. — 2013. — V.26, # 9. — P. 1347—1358.
2. Organic-inorganic membranes for filtration of corn distillery / [V.G. Myronchuk, Y.S. Dzyazko, Y.G. Zmievskii et al] // Acta Periodica Technologica. — 2016. — V. 47. — P. 153—165.
3. Wenten I.G. Reverse osmosis applications: Prospect and challenges / I. G. Wenten, K. Khoiruddin // Desalination. — 2016. — V. 391. — P. 112—125.
4. Etzel M.R. Novel Membrane Technologies for Protein Concentration and Fractionation / M.R. Etzel, A. Arunkumar // Innovative Food Processing Technologies. — 2016. — P. 151—175.

5. Ultrafiltration in Food Processing Industry: Review on Application, Membrane Fouling, and Fouling Control / A.W.Mohammad, C.Y. Ng, Y.P. Lim, G.H. Ng // Food Bioprocess Technology. — 2012. — V. 5. — P. 1143—1156.

6. Ferrer M. Changes in the physico-chemical properties of casein micelles during ultrafiltration combined with diafiltration / M. Ferrer, M. Alexander, M. Corredig // LWT — Food Science and Technology. — 2014. — V. 59. — P. 173—180.

7. Development of a knowledge based hybrid neural network (KBHNN) for studying the effect of diafiltration during ultrafiltration of whey / [D. Sen, A. Roy, A. Bhattacharya та ін.] // Desalination. — 2011. — # 273. — P. 168—178.

8. El-Sayed M.H. Trends in whey protein fractionation / M.H. El-Sayed, H.A. Chase // Biotechnology Letters. — 2011. — V. 33. — P. 1501—1511.

9. Effect of whey nanofiltration process combined with diafiltration on the rheological and physicochemical properties of ricotta cheese / [E.S. Prudencio, C.M. Muller, C.B. Fritzen-Freire та ін.] // Food Research International. — 2014. — V. 56. — P. 92—99.

10. Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration / [A. Roman, J. Wang, J. Csanadi та ін.] // Desalination. — 2009. — V. 241. — P. 288—295.

11. Modeling of diafiltration processes for demineralization of acid whey: an empirical approach / [A. Roman, V. Vatai, A. Ittzes та ін.] // Journal of Food Process Engineering. — 2012. — V. 35. — P. 708—714.

12. Economically optimal batch diafiltration via analytical multi-objective optimal control / R. Paulen, M. Jelemensky, Z. Kovacs, M. Fikar // Journal of Process Control. — 2015. — # 28. — P. 73—82.

13. Saving water in a volume-decreasing diafiltration process / [D.M. Krstic, M.N. Tekic, Z.Z. Zavargo та ін.] // Desalination. — 2004. — V. 165. — P. 283—288.

14. Mathematical model of variable volume diafiltration / M.N.Tekic, Z.Z. Zavargo, D.M. Krstic, M. Djuric // Hungarian Journal of Industrial Chemistry. — 2002. — V. 30. — P. 211—214.

15. Organic-inorganic materials containing nanoparticles of zirconium hydrophosphate for baromembrane separation / [Y.S. Dzyazko, L.M. Rozhdestvenskaya, Y.G. Zmievsckii and other] // Nanoscale Research Letters. — 2015. — V. 10. — P. 64—75.

16. Experimental Study of the Effect of High Pressure on the Efficiency of Whey Nanofiltration Process Using an OPMN-P Membrane / V.G. Myronchuk, I.O. Grushevskaya, D.D. Kucheruk, Y.G. Zmievsckii // Petroleum Chemistry. — 2013. — # 53. — P. 439—443.

17. Змієвський Ю.Г. Дослідження процесу нанофільтрації молочної сироватки / Ю.Г. Змієвський. // Наукові праці НУХТ. — 2017. — № 2. — С. 123—130.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИАНАНОФИЛЬТРАЦИИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

**Ю.Г. Змієвський**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье с помощью математического моделирования определено рациональное соотношение между количеством воды, которая непрерывно добавляется в молочную сыворотку, и количеством пермеата. Теоретические расчеты были проверены экспериментально на лабораторной установке проточного типа. Это позволило получить концентрат молочной сыворотки деминерализованный на 62%, что на 36 % больше, чем при традиционной технологии. Сделан вывод о перспективности использования такого подхода в промышленных условиях.*

**Ключевые слова:** нанофильтрация, диафильтрация, деминерализация, мембрана.

УДК 664.8.03:639.231

## ASSESSMENT OF SURFACE EFFICIENCY FOR TRANSPORTATION OF THE DOGFISH

N. Bolila, O. Sydorenko

*Kyiv National University of Trade and Economics*


---

**Key words:**

dogfish,  
friction coefficient,  
surface slope,  
transportations

---

**Article history:**

Received 05.04.2017  
Received in revised form  
10.07.2017  
Accepted 24.09.2017

---

**Corresponding author:**  
nadya\_15@bigmir.net

---

**ABSTRACT**

The article gives the results of researches for an assessment of surface efficiency for transportation of the Black Sea dogfish by means of determination of carcass friction coefficient depending on the appearance of surface and carcass state. The surfaces with different surface slope and wide range of industrial usage in fishery were chosen for this research. The studies were carried out on a multifunctional modular measuring device "MiG-1.3" using a strain module. The dependence of the frictional force on time is processed. The optimal surface for transporting dogfish for processing in industrial conditions and in accordance with the optimal angle of transportation of dogfish along the conveyor belt has been established. As a result of the systematization of the conducted studies it was established that the coefficient of frictional force can be a criterial indicator of the evaluation of the effectiveness of surfaces for transportation of dogfish.

---

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ АКУЛИ КАТРАН

Н.О. Боліла

О.В. Сидоренко, д-р. техн. наук

*Київський національний торговельно-економічний університет*

*У статті наведено результати досліджень з оцінки ефективності поверхонь для транспортування чорноморської акули катран шляхом визначення коефіцієнта тертя туш залежно від виду поверхонь та стану туш. Для експериментальних досліджень було вибрано поверхні з різним кутом нахилу, що мають широкий спектр промислового використання у галузі рибного господарства.*

**Ключові слова:** *катран, коефіцієнт тертя, кут нахилу, транспортування.*

**Постановка проблеми.** Наразі актуальним завданням галузі рибного господарства України є розширення асортименту оздоровчих харчових продуктів із вітчизняної сировини, перспективним видом якої є акула катран [1;2].

Споживні властивості оздоровчих харчових продуктів на основі рибної сировини доцільно оцінювати за комплексом показників, невід'ємними складовими якого є фізичні властивості риби.

До фізичних властивостей риби відносять розміри тіла, густину, об'ємну масу, центр ваги, кут природного відкосу, кут ковзання і коефіцієнт тертя, питому теплоємність, температуропровідність, електричні властивості (електро-

опір), які є важливими для визначення показників споживної цінності та надання відповідних рекомендацій щодо їх збереження [3].

Встановлено, що одним із критеріальних показників оцінки ефективності поверхонь для транспортування акули катран є коефіцієнт тертя [4].

Відповідно, дослідження з визначення коефіцієнта тертя акули катран, що виникає між експериментальним зразком і матеріалом транспортної стрічки та характеризує молекулярне зчеплення між об'єктом і стрічкою, є актуальним. Крім того, оскільки тіло катрана покрито лускою плакоїдної (голчатопоподібної) форми, то потребувала доведення сформована нами гіпотеза залежності коефіцієнта тертя від розташування напрямку луски відносно напрямку руху стрічки та структури поверхні. Крім того, на коефіцієнт тертя впливає стан риби (жива, охолоджена, заморожена) та спосіб розбирання (філе, тушка, стейк тощо).

**Метою дослідження** є оцінка ефективності використання різних поверхонь для транспортування акули катран.

**Матеріали і методи досліджень.** Об'єктом дослідження була акула катран чорноморська різного віку (від 3 до 6 років). Дослідження проводились на багатофункціональному модульному вимірювальному приладі «МІГ-1.3» з використанням модуля деформації [5—7].

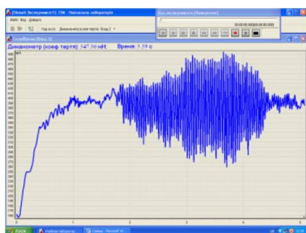
**Результати досліджень.** Одним із важливих критеріїв збереженості споживної цінності продукту під час товароруху є коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні та кут нахилу. За створеною фізичною моделлю коефіцієнт тертя визначає величину супротиву поступальному рухові тіла по поверхні. Сила тертя направлена протилежно напрямку руху об'єкту (рис. 1).



Рис. 1. Сили, що діють на тіло під час тертя по поверхні:

$\vec{F}_{\text{тер}}$  — сила тертя, Н;  $\vec{F}_{\text{пер}}$  — рівнодійна сила, або сила переміщення, Н

Визначення коефіцієнта тертя дає змогу більш ефективно використати поверхню під час транспортування катрана після вилову та в процесі промислової переробки. Для експериментальних досліджень було вибрано поверхні, що мають широкий спектр промислового використання у рибній галузі: гумова, алюмінієва, сталева, органічне скло. Результати визначення коефіцієнта тертя катрана оцінювалися у двох напрямках переміщення по поверхні — за та проти луски. Експеримент виконувався на установці «МІГ-1.3» із фіксуванням у реальному часі зміни сили тертя (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Сила тертя катрана по гумі проти (а) і за лускою (б)



На графіках чітко спостерігається відмінність у виявленні сили тертя, що є наслідком поведінки плакоїдної (голчатої) луски катрана. Сильні коливання, що зафіксовані приладом, характерні для моментів зчеплення лусок із гумою. Цей процес цікавий не лише тим, що доведена необхідність більших зусиль для переміщення об'єкта вздовж поверхні (рис. 2а), а й встановленим фактом виникнення коливань усередині об'єкта під час такого руху (рис. 2а). У той же час (рис. 2б) відмічено невеликі коливання, пов'язані з виникненням незначного зчеплення досліджуваного об'єкта з поверхнею. Якщо розглянути графічну залежність зміни сили тертя в часі, то чітко спостерігається наявність коефіцієнта тертя спокою (ділянка I) та виникнення коефіцієнта тертя об поверхню (ділянка II, рис. 3).

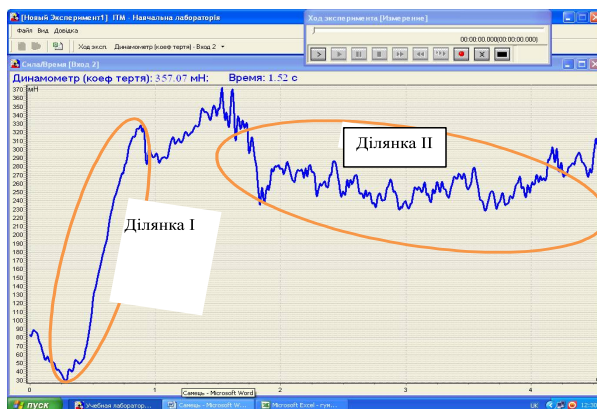


Рис. 3. Залежність сили тертя від часу

У результаті опрацювання залежностей сили тертя від часу в програмному пакеті EXCEL для досліджуваних об'єктів, отримуємо графіки, з визначенням лінії тренда, коефіцієнта апроксимації та лінійного рівняння залежності сили тертя від часу (рис. 4). Відомо, що сила тертя може бути визначена згідно з формулою (1) за умови рівномірного переміщення об'єкта по горизонтальній поверхні:

$$F_{\text{тер}} = -\mu N = -\mu mg, \quad (1)$$

де  $\mu$  — коефіцієнт тертя,  $N$  — сила реакції опори.

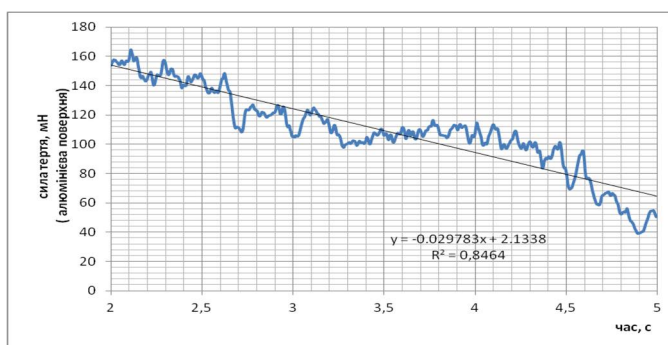


Рис. 4. Графічна залежність зміни сили тертя при рівномірному переміщенні зразка по горизонтальній поверхні в реальному часі

З урахуванням отриманих рівнянь визначаємо середнє значення коефіцієнта тертя для кожної експериментальної поверхні (табл.1).

Таблиця 1. Коефіцієнти тертя для досліджуваних поверхонь

Вид поверхні	$\mu$ (за лускою)	$\mu$ (проти луски)
Гума	0,0545	0,0754
Алюміній	0,0295	0,0437
Сталь	0,0351	0,0429
Органічне скло	0,6716	1,0136

Особливу увагу звертаємо на органічне скло, оскільки серед досліджуваних поверхонь саме ця має найбільші значення коефіцієнтів тертя. Необхідно відмітити, що, переміщуючи катран по поверхні органічного скла проти луски, ми фіксуємо повну протидію переміщенню. Коефіцієнт тертя становить більше 1, а це означає, що при виконанні таких умов катран на поверхні буде нерухомим. Відповідно, для транспортування катрана найбільш раціональною поверхнею є органічне скло, що є важливим критерієм підвищення ефективності процесу товароруку [8].

Наступним етапом наших досліджень було встановлення залежності коефіцієнта тертя для органічного скла від кута нахилу. Сили, які діють на тіло під час руху по похилій площині, показано на рис. 5.

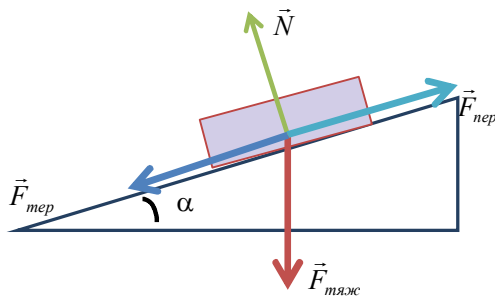


Рис. 5. Схематичне зображення діючих сил на тіло, яке переміщують по похилій площині вгору:  $\vec{F}_{тер}$  — сила тертя, Н;  $\vec{F}_{пер}$  — рівнодійна сила, або сила переміщення, Н;  $\vec{F}_{тяж}$  — сила тяжіння, Н;  $\vec{N}$  — сила реакції опори, Н;  $\alpha$  — кут нахилу поверхні

Розрахунок кута, при якому тіло перебуває у стані спокою, проводилось за формулою (2):

$$F_{тер} + F_{тяж} \cdot \sin \alpha = F_{пер} . \quad (2)$$

Визначений кут нахилу знаходиться в межах від  $13^\circ$  до  $22^\circ$ . Експериментальна перевірка, виконана з використанням «МІГ-1.3» та поверхні змінного нахилу, підтвердила отримані результати (табл. 2).

Таблиця 2. Коефіцієнт тертя катрана по органічному склу залежно від кута нахилу поверхні

$0^\circ$	$13^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$
0,6716	0,7998	0,62104	0,8241

Для порівняння отриманих результатів скористаємось діаграмою залежності сили тертя тіла катрана від кута нахилу поверхні (рис. 6).

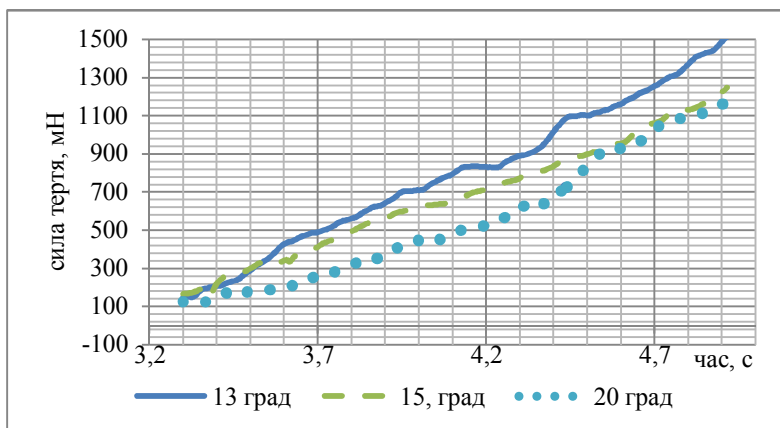


Рис. 6. Залежність сили тертя досліджуваного об'єкта від кута нахилу поверхні

Таким чином, оптимальним кутом для транспортування катрана по транспортній стрічці є кут 20°, при якому риба перебуває в стані спокою, тобто є нерухомою за умови, що напрям луски протилежний напрямку руху транспортера.

**Висновки.** В результаті систематизації проведених досліджень визначено, що коефіцієнт сили тертя може бути критеріальним показником оцінки ефективності поверхонь для транспортування акул катран. Оптимальною поверхнею для транспортування на переробку акул катран у промислових умовах є органічне скло або матеріали аналогічної структури, що обґрунтовано на основі встановлених, найбільших значень коефіцієнта тертя як у горизонтальному, так і в нахиленому положенні транспортера незалежно від напрямку луски стосовно напрямку переміщення досліджуваного об'єкта.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Боліла Н.О. Вплив морфометричних характеристик на споживні властивості чорноморської акул катран / Н.О. Боліла // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча. — 2016. — Вип. 16. — С. 119—122.
2. Сидоренко О.В. Напрями реформування галузі рибного господарства України / О.В. Сидоренко, В.П. Коротецький, Н.О. Боліла // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. — 2015. — Вип. 2(22). — С. 176—187.
3. Романенко О.В. Метод визначення структурно-механічних властивостей рибних пресервів / О.В. Романенко // Міжн. наук.-практ. журн. «Товари і ринки». — 2013. — С. 58—63.
4. Види деформації [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://allref.com.ua/uk/skachaty/vidi\\_deformaciiu](http://allref.com.ua/uk/skachaty/vidi_deformaciiu).
5. Пат 14496 А Україна, МПК G01N 33/02. Спосіб визначення консистенції харчових продуктів / В.С. Гуць, О.А. Коваль, О.В. Сидоренко, О.В. Тимофеева. — № 200511305; заяв. 29.11.05; опубл. 15.05.2006, Бюл. №5.
6. Сидоренко О.В. Прогнозування структурних характеристик чорноморської акул катран залежно від імпульсу сили деформації / О.В. Сидоренко, Н.О. Боліла, Н.П. Форостяна // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. — № 42(1214) 2016. — С. 205—210.

7. Гуць В.С. Моделирование показателей качества пищевых продуктов и прогнозирование срока их годности / В.С. Гуць // Упаковка. — 2009. — № 3. — С. 30—34.

8. Методичні рекомендації до виконання науково-дослідних робіт з використанням універсального вимірального комп'ютерного приладу // Шаповал С.Л., Форостяна Н.П., Литвинов Ю.В., Романенко Р.П. — К. : 2013. — 87 с.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ АКУЛЫ КАТРАН**

**Н.А. Болила, Е.В. Сидоренко**

*Киевский национальный торгово-экономический университет*

*В статье приведены результаты исследований по оценке эффективности поверхностей для транспортировки черноморской акулы катран путем определения коэффициента трения туш в зависимости от вида поверхностей и состояния туш. Для экспериментальных исследований было выбрано поверхности с различным углом наклона, имеющие широкий спектр промышленного использования в области рыбного хозяйства.*

**Ключевые слова:** *катран, коэффициент трения, угол наклона, транспортировка.*

УДК 542.61:66.061.4

## ABOUT MECHANISM OF MASS-TRANSFER WITH THE BODIES CELLULAR STRUCTURE

V. Dyachok

Lviv Polytechnic National University

Y. Zaporochets

National University of Food Technologies

---

### Key words:

extraction,  
drying,  
sorption,  
intracellular substance,  
intercellular environment,  
microalgae,  
diffusion

---

### Article history:

Received 06.02.2017  
Received in revised form  
15.03.2017  
Accepted 01.05.2017

---

### Corresponding author:

taras\_as@ukr.net

---

### ABSTRACT

The features of mass-transfer are analysed with the solids of cellular structure on the example of absorption of carbon dioxide by microalgae. It is shown that a complex heterophase process in which carbon dioxide is the mass transfer from the gas phase in the “relatively solid” phase. For such processes characteristic simultaneous dependence of speed is on diffusive and kinetic factors. The system “gas-liquid-cell” is a three-phase, in that requires the special mathematical description.

The paper studied the mechanism and dynamics of carbon dioxide absorption by microalgae including anatomical features of their structure, a namely the presence of cellular and extracellular environment. A four stages in the process of absorption of carbon dioxide provided microalgae sparging it through an aqueous solution. Experimentally verified the proposed mechanism of mass transfer of carbon dioxide from the air into the intracellular environment of the cell microalgae.

---

## ПРО МЕХАНІЗМ МАСООБМІНУ З ТІЛАМИ КЛІТИННОЇ БУДОВИ

В.В. Дячок, докт. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка»

Ю.В. Запорожець, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано особливості масообміну з твердими тілами клітинної будови. Вивчено механізм і динаміку поглинання вуглекислого газу мікрородостями, враховуючи анатомічні особливості їх будови — наявності клітинного та міжклітинного середовища. Експериментально підтверджено механізм масопереносу вуглекислого газу з повітря у внутрішньоклітинне середовище клітини мікрородості. Запропоновано механізм визначення коефіцієнта масопереносу та константи швидкості біохімічної реакції фотосинтезу.

**Ключові слова:** екстракція, сушіння, сорбція, клітинне середовище, міжклітинне середовище, мікрородості, дифузія.

**Постановка проблеми.** При вивченні процесів масообміну з твердою фазою клітинної будови традиційно припускається, що у найбільш загальному випадку їх будову можна представити як сукупність двох середовищ — клітинного та міжклітинного, розділеного між собою клітинною оболонкою. Будова клітин-

них оболонку досить складна, проте найбільш імовірно, що власне вона складає основний опір дифузії внутрішньоклітинній речовині із клітини в міжклітинний об'єм, тоді у середовище поза межами об'єму твердого тіла. Такі процеси проходять у випадку екстрагування, сушіння, тому можемо припустити, що рух цільового компонента складається з таких стадій:

- дифузія через пористу оболонку клітини в міжклітинний об'єм;
- дифузія в міжклітинному об'ємі до поверхні твердого тіла;
- перехід з поверхні твердого тіла в основну масу середовища іншої фази.

При таких припущеннях можна вважати, що міжклітинний об'єм відіграє роль транспортного коридору, в якому діє джерело речовини (цільового компонента) — клітина.

Процеси у зворотному напрямку проходять при сорбції, тобто має місце селективне поглинання компонента із середовища поза межами твердого тіла клітинної будови у внутрішній об'єм клітини. У біологічних процесах це явища інтоксикації, поглинання газів, зокрема вуглекислого газу колоніями хлорофіл-синтезуючих мікроводоростей тощо, оскільки колонії мікроводоростей можна представити, як тверде тіло клітинної будови в досліджуваній системі (рис. 1). Така концепція закладається в основу математичного опису масообмінного процесу із твердою фазою клітинної будови [1; 2; 6].

Слід сказати, що процеси транспорту речовини в твердих тілах клітинної будови при екстрагуванні, сорбції, сушінні, незважаючи на відмінність напрямків механізмів масопереносу, мають значну кінетичну спорідненість або подібність.

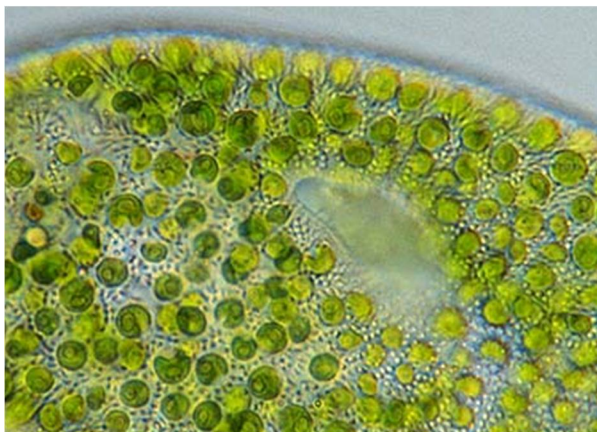


Рис. 1. Загальний вигляд колонії мікроводоростей у водному середовищі

Загальним для цих процесів є дифузійний механізм масопереносу в широкому розумінні цього слова, який в ізотермічних умовах може бути описаний уже відомими рівняннями масообміну [1; 4].

Явище проникнення у водну фазу вуглекислого газу шляхом дифузійного переносу до клітинної стінки із подальшим транспортом його через мембрану всередину клітини теж може бути описано моделлю масопереносу з твердими тілами клітинної будови, оскільки клітину можна вважати «умовно твердою» фазою. Сумарний опір у цьому випадку може виявитися достатньо значним, тому важливо визначити, який з усіх є лімітуючим і найбільше впливає на загальну швидкість процесу [4; 5].

**Мета дослідження** полягає у вивченні механізму процесів, які супроводжують поглинання вуглекислого газу із газового середовища клітинами мікроводоростей, або, іншими словами, у вивченні процесів, які супроводжують трансформацію вуглекислого газу а біомасу.

**Методи і методики.** Біологічні об'єкти, як правило, дуже складні, а на процеси, що відбуваються в них, впливає багато факторів, які часто залежать один від одного. За допомогою кореляції фізико-хімічних величин з біологічними можна одержати більш глибоке розуміння процесів у досліджуваному біологічному об'єкті. Основою сучасної стратегії дослідження і опису біологічних процесів, ускладнених масоперенесенням, є поетапне вивчення впливу дифузійних факторів і пошук такого режиму проведення процесу, коли вплив масопереносу незначний або може бути знехтуваний.

Як показано в цілому ряді дослідів, система з колоніями клітин мікроводоростей, які знаходяться в рідкому середовищі, може лімітуватись масопереносом на межі розділу «газ-рідина» [4; 5]. Тому при такому припущенні масоперенесення вуглекислого газу із газової фази в рідку можна описати рівнянням масовіддачі:

$$\frac{dM}{dt} = \beta_{\text{CO}_2} (\overline{C_{\text{CO}_2}} - C_{\text{CO}_2}), \quad (1)$$

де  $\overline{C_{\text{CO}_2}}$  і  $C_{\text{CO}_2}$  — концентрація вуглекислого газу у газовій і рідкій фазах.

При культивуванні мікроводоростей в апаратах із мішалками або колонних біореакторах дифузійним опором на межі «клітина-рідина» можна знехтувати в тих випадках, коли мова заходить про окремі клітини. Проте, коли маємо справу з колоніями клітин мікроводоростей, (рис.1), то слід враховувати опір міжклітинного середовища дифузії вуглекислого газу до поверхні клітини мікроводорості.

Тому наступним етапом є дифузія вуглекислого газу в міжклітинному середовищі колоній мікроводоростей до поверхні мембран клітини. Масоперенос розчинених у рідкій фазі газоподібних субстратів до поверхні мембрани клітини проходить шляхом молекулярної дифузії. Кількісно процес міжклітинного переносу описується рівнянням:

$$D_m = \epsilon D, \quad (2)$$

де  $\epsilon$  — коефіцієнт, що визначає пористість колоній мікроводоростей.

Наступним етапом є транспорт вуглекислого газу через клітинну мембрану у внутрішній об'єм клітини мікроводорості. Проникнення вуглекислого газу через клітинну мембрану може здійснюватися як за рахунок активного, так і пасивного транспорту. У випадку пасивного транспорту процес має дифузійний характер та описується рівнянням:

$$\gamma = -D_c \text{grad } C_m, \quad (3)$$

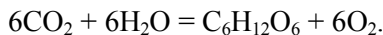
де  $\gamma$  — густина об'ємного потоку вуглекислого газу через клітинну мембрану;  $C_m$  — концентрація вуглекислого газу в міжклітинному середовищі.

Активний транспорт можна описати рівнянням Міхаеліса-Ментена:

$$U = U_{\max} \frac{[S]}{k_m + [S]}, \quad (4)$$

де  $k_m$  — константа Мехаеліса-Ментена, що характеризує швидкість ферментативної реакції залежно від концентрації субстрату в стаціонарному процесі;  $U_{\max}$  — максимальна швидкість ферментативної реакції;  $S$  — концентрація субстрату ( $\text{CO}_2$ ).

Завершальним етапом є фотосинтез. Шлях дифузії закінчується в хлоропластах, де  $\text{CO}_2$  вступає в реакцію фотосинтезу:



Кінетика фотосинтезу описується кінетичним рівнянням:

$$\frac{dC}{dt} = k [C_{\text{CO}_2}] \cdot [C_{\text{H}_2\text{O}}].$$

Згідно з правилом адитивності сумарний коефіцієнт масопереносу  $K$  визначається:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\text{CO}_2}} + \frac{l}{D_m} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{d_e}{k}}, \quad (6)$$

де  $\beta_{\text{CO}_2}$  — коефіцієнт масовіддачі вуглекислого газу із газового середовища у рідину;  $D_m$  — коефіцієнт дифузії вуглекислого газу в міжклітинному середовищі колоній мікроводоростей;  $l$  — умовний середній розмір колоній мікроводоростей;  $D_c$  — коефіцієнт дифузії вуглекислого газу через клітинну мембрану;  $\delta$  — товщина мембрани клітини мікроводорості;  $k$  — константа швидкості біохімічної реакції фотосинтезу;  $d_e$  — еквівалентний діаметр клітини мікроводорості.

В основі процесів масообміну клітини із зовнішнім середовищем лежить скланий ряд організованих певним чином у часі і просторі біореакцій. У результаті цих процесів змінюються концентрації різних речовин, кількість окремих клітин, біомаса мікроорганізмів, можуть змінюватися і інші величини.

При барботуванні вуглекислого газу через водний розчин у фотобіореакторі підвід вуглекислого газу з основного об'єму розчину до поверхні колоній біомаси мікроводоростей є досить інтенсивним. Тому коефіцієнт масовіддачі  $\beta_{\text{CO}_2}$  є відносно значною величиною, а оберненим його значенням (див. (6)) можемо знехтувати. Враховуючи порисність колоній мікроводоростей ( $\varepsilon = 0,4$ ), можна припустити конвективний масоперенос вуглекислого газу в міжклітинному об'ємі колоній, а відтак, другим коефіцієнтом знаменнику виразу (6) також нехтуємо.

Через клітинну мембрану концентрація вуглекислого газу зменшується за лінійним законом від  $C_m$  до  $C_e$ . Швидкість транспорту вуглекислого газу через одиницю площі клітинної мембрани:

$$\frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} = u = D_c \frac{C_m - C_e}{\delta}. \quad (7)$$



Швидкість біохімічної реакції фотосинтезу пропорційна концентрації вуглекислого газу —  $C_B$  у внутрішньому об'ємі клітини, оскільки концентрація води у внутрішньому об'ємі клітини є значною:

$$u_p = kC_B. \quad (8)$$

В умовах стаціонарного стану кількість вуглекислого газу, що вступає в біохімічну реакцію фотосинтезу рівна кількості вуглекислого газу, що проникає через клітинну мембрану у внутрішній об'єм клітини запишеться рівністю:

$$\beta(C_m - C_B)_p = kC_B. \quad (9)$$

Визначивши із рівняння (8)  $C_B$  і підставивши його у рівняння (9) отримаємо вираз для визначення швидкості біохімічної реакції :

$$u_p = C_m \frac{k\beta}{k + \beta}. \quad (10)$$

Якщо швидкість біохімічної реакції більша за швидкість транспорту вуглекислого газу через клітинну мембрану:

$$k \gg \beta. \quad (11)$$

Тоді в знаменнику рівняння (10) можна знехтувати величиною  $\beta$  і швидкість біохімічної реакції визначається за формулою:

$$u_p = \beta C_m. \quad (12)$$

З рівняння (12) випливає, що швидкість біохімічної реакції визначає швидкість дифузії (транспорту) вуглекислого газу через клітинну мембрану (дифузійна кінетика).

Якщо ж швидкість біохімічної реакції буде значно менша від швидкості транспорту вуглекислого газу через клітинну оболонку;

$$k \ll \beta, \quad (13)$$

то в рівнянні (10) можна знехтувати величиною  $k$ , тоді швидкість біохімічної реакції дорівнюватиме:

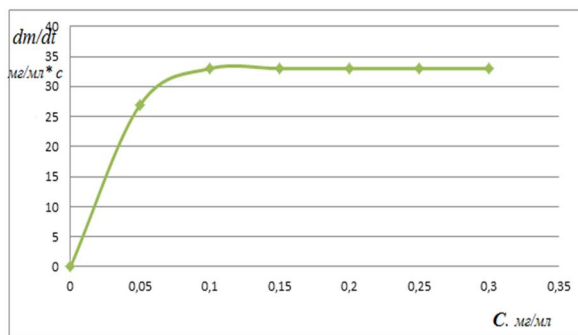
$$u_p = kC_m. \quad (11)$$

Тобто швидкість біохімічної реакції визначається швидкістю взаємодії вуглекислого газу та води. Отримане рівняння (10) подібне до рівняння (4), що підтверджує можливість опису біологічних процесів дифузійною кінетичною теорією.

Коли швидкість біохімічної реакції визначається швидкістю дифузії, то для інтенсифікації процесу в цілому доцільно застосовувати перемішування, тобто

інтенсифікувати гідродинаміку. Якщо швидкість біохімічної реакції залежить від швидкості хімічної взаємодії, то інтенсифікація гідродинаміки не дасть бажаних результатів.

**Результати досліджень.** Отримана теорія добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень швидкості приросту біомаси мікроводоростей при барботуванні вуглекислого газу в біореакторі (рис. 2).



**Рис. 2.** Залежність швидкості приросту біомаси мікроводоростей від концентрації вуглекислого газу

Рівняння 10 у системі координат дає змогу визначати величину  $\frac{k + \beta}{k\beta} = \operatorname{tg} \alpha$  як тангенс кута нахилу прямої.

З іншого боку, згідно з рівнянням (8), після його диференціювання та представлення результату в системі координат  $\ln\left(\frac{C_n}{C_k}\right) = f(t)$ , маємо можливість визначити константу швидкості  $k$ .

**Висновки.** Таким чином, основою сучасної стратегії кінетичного дослідження й опису біологічних процесів, ускладнених масоперенесенням, є роздільне кількісне вивчення впливу кінетичних і дифузійних факторів та пошук такого режиму проведення процесу, коли вплив масопереносу незначний або може бути знехтуваний.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Dyachok V. Extraction process of intracellular substance / Chemistry & chemical technology. — 2010. — Vol. 4, # 2.— P. 163—167.
2. Dyachok V. Some kinetic regularities of intracellular substance extracting / V. Dyachok, M. Malovanyu, I. Ilkiv // Chemistry & chemical technology. — 2011. — Vol. 12, # 4.— P. 163—167.
3. Dyachok V. Mathematical model of massreturn from lamina of the leaf into extractant / V.Dyachok, R. Dyachok, O.Gaiduchok and N.Ilkiv // Chemistry & chemical technology 2015. — Vol. 9, # 1. — P. 107—110.
4. Dyachok V. Mathematical design of biological processes of complicated mass transfer / V.Dyachok, S. Huhlych // Sciens and Education a New Dimension // Natural and Technical Sciences. — 2015. — III(5), ISSUE 41. — P. 91—94.
5. Дячок В.В. Масообмін при культивування мікроводоростей / В.В. Дячок, Ю.В. Запорожець, О.Б.Левко // Наукові праці ОНАХТ. — Одеса, 2015. — Вип. 47, Т. 1. — С. 73—79.

6. Dyachok V. On the mechanism of extraction from solid bodies cellular structure / V. Dyachok, I. Ilkiv // Chemistry & chemical technology. — 2013. — Vol. 7, # 1. — P. 4—10

## **О МЕХАНИЗМЕ МАССООБМЕНА С ТЕЛАМИ КЛЕТОЧНОГО СТРОЕНИЯ**

**В.В. Дьячок**

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**Ю.В. Запорожец**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье проанализированы особенности массообмена с твердыми телами клеточного строения. Изучены механизм и динамика поглощения углекислого газа микроводорослями с учетом анатомической особенности их строения — наличия клеточной и межклеточной среды. Экспериментально подтверждено механизм массопереноса углекислого газа из воздуха во внутриклеточную среду клетки микроводорослей. Предложен механизм определения коэффициента массопереноса и константы скорости биохимической реакции фотосинтеза.*

**Ключевые слова:** *экстракция, сушка, сорбция, клеточное строение, межклеточная среда, микроводоросли, диффузия.*

УДК 663.14

## HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER IN AEROBIC FERMENTATION PROCESSES

**A. Cokolenko, V. Piddybny, O. Stepanets***National University of Food Technologies***L. Golovkina***Uman National University of Horticulture***Key words:**

aeration,  
aerobic fermentation,  
gas retaining ability,  
circulating contour,  
velocity,  
energy.

**Article history:**

Received 16.09.2017

Received in revised

form 20.10.2017

Accepted 21.11.2017

**Corresponding author:**

mif63@i.ua

**ABSTRACT**

The article presents the results of phenomenological and experimental studies concerning the features of the complex assessment of the hydrodynamics of aerobic fermentation processes with the forced formation of gas-liquid media. Information is provided on the laws and principles laid down in the basis of research, the aim is to intensify mass-exchange processes, evaluate energy potentials, and increase the concentration of limited soluble oxygen by aeration and the search for parameters of influence. Experimental part of the research concerned the estimation of the influence of the unevenness factor of the distribution of incoming air flows on the reactor section. The data on the interconnections of air flows, gas-holding capacity, the rate of flood dispersion of the gas phase and the energy potentials of media are given.

## ГІДРОДИНАМІКА І МАСООБМІН У ПРОЦЕСАХ АЕРОБНОГО БРОДІННЯ

**А.І. Соколенко****В.А. Піддубний****О.І. Степанець***Національний університет харчових технологій***Л.І. Головкіна***Уманський національний університет садівництва*

*У статті наведено результати феноменологічних і експериментальних досліджень, які стосуються особливостей комплексної оцінки гідродинаміки процесів аеробного бродіння з примусовим утворенням газорідних середовищ. Експериментальна частина досліджень стосувалася оцінки впливів фактора нерівномірності розподілу вхідних повітряних потоків по перерізу реактора. Проаналізовано дані щодо взаємозв'язків повітряних потоків, газоутримувальної здатності, швидкості спливання диспергованої газової фази та енергетичних потенціалів середовищ.*

**Ключові слова:** аерація, аеробне бродіння, газоутримувальна здатність, циркуляційний контур, швидкість, енергія.

**Постановка проблеми.** Теоретичні й експериментальні дослідження мають за своє підґрунтя математику як багаторівневу розрахунково-аналітичну систему, побудовану на законах системної логіки, що можливо вважати за першу точку опори. Другою, не менш важливою опорою слід розглядати фізику як аналіз фізичних явищ у їх структурній побудові і взаємозв'язках між рушійними пара-

метрами й параметрами, якими представлені фактори опору. До третьої складової відносяться феноменологічні міркування, які об'єднують між собою фізичне підґрунтя і математичні образи або моделі. При цьому ступінь достовірності таких моделей з позицій математика і феноменологічних узагальнень буде визначатися адекватністю результатів теоретичних розрахунків і фактичних даних, що об'єктивно належать досліджуваним об'єктам [1—5].

В основі цих досліджень лежать загальноновизнані підходи, до яких відносяться закони збереження в їх різних трансформаціях. Очевидно, що кожен з усталених або неусталених процесів вимагають для їх перебігу енергетичного підґрунтя. Стосовно процесів культивування аеробних мікроорганізмів таке підґрунтя забезпечується як за рахунок хімічної енергії, так і за рахунок зовнішнього енерговведення. При цьому трансформації хімічної енергії не виходять за рамки звичайних хімічних реакцій і біохімічних перетворень з повними енергетичними балансами.

Хоча в процесах синтезу біомаси мікроорганізмів одночасно задіяна кількарівнева ієрархія процесів, разом з тим з їх структури на основі принципу суперпозиції можливо виділити окремі, як умовно незалежні. До числа останніх віднесено масообмін у газорідному середовищі, завданням якого є забезпечення рідинної фази і мікроорганізмів розчиненим киснем. Реалізація останнього завдання здійснюється за рахунок диспергування газової фази в рідинній зі створенням масообмінної поверхні. При цьому на вказаній поверхні масопередачі має місце не один матеріальний потік кисню, оскільки саме через газову фазу відбувається відбір і вилучення з рідинної фази розчиненого діоксиду вуглецю. Окрім того, відбувається вологоперенесення і повне насичення газових бульбашок водяною парою, що додатково ускладнюється масоперенесенням через поверхню контактування фаз азоту. Напрямок перенесення азоту може бути різним, оскільки споживач на розчинений  $N_2$  відсутній, але за рахунок перенесення рідинної фази у вертикальних циркуляційних площинах перенесення можливе[6].

**Мета дослідження:** провести теоретичне й експериментальне узагальнення можливостей і методів інтенсифікації масообміну в газорідних середовищах за умов примусової аерації.

**Методи дослідження.** До числа законів і принципів, на яких побудовано теоретичні і експериментальні дослідження, віднесено такі:

- закон збереження енергії;
- закон Паскаля;
- закон Архімеда;
- закон збереження імпульсу;
- закон нерозривності потоку;
- газові закони Гей-Люссака і Бойля-Маріотта;
- закон Лапласа;
- закон розчинності Генрі;
- закони складання швидкостей у класичній механіці і гідромеханіці;
- принцип Ле Шательє;
- принцип суперпозиції;
- принцип найбільш вірогідного стану.

Наведений перелік відноситься до числа класичних положень термодинаміки, фізики, механіки, гідростатики і гідродинаміки, що надає можливість у цьому дослідженні користуватися загальноновживаними закономірностями.

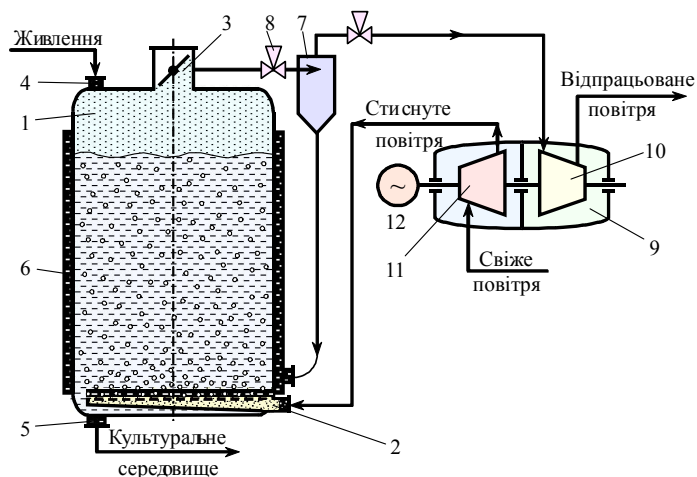
**Результати дослідження.** Пов'язуючи можливості інтенсифікації масообміну з енергетичними впливами на систему, необхідно продовжити поглиблений аналіз трансформації різних видів енергії в механічні впливи як кінцевий результат. Саме механічні впливи заслуговують на увагу, оскільки вони не супроводжуються хімічними реакціями, утворенням вільних радикалів, небажаних в умовах життєдіяльності мікроорганізмів і синтезу біомаси.

Аналіз рівняння кінетики масоперенесення вказує на те, що одним із важливих чинників масопередачі є стала насичення  $c_n$  середовища на кисень, яка визначається через константу Генрі та величину парціального тиску. При цьому парціальний тиск необхідно визначати від його абсолютного значення. Це означає, що збільшення середнього значення сталої насичення не буде пропорційним величині гідростатичного тиску за оцінки впливу висоти рідинного шару. У зв'язку з цим, здійснюючи вибір співвідношення висоти шару рідинної фази до діаметра реактора, неможливо розраховувати на пропорційне збільшення рушійного фактора масопередачі. Наприклад, збільшення у порівнюваних конструкціях висоти шару у 2 рази приведе максимально до 20-відсоткового зростання  $c_n$ , в той же час за незмінного газового потоку енергетичні витрати зростуть вдвічі. Оперуючи даними щодо залежності розчинення кисню від парціальних тисків здійснено розрахунки змінення співвідношень констант  $c_n$  у зв'язку з різними значеннями висот рідинної фази. Звідси на основі феноменологічних узагальнень робиться висновок про доцільність здійснення процесів аерації за підвищених тисків. Однак реалізація такої програми для стандартних умов знову призведе до збільшення енергетичних витрат на стискання газової фази. Проте існує варіант усунення і такого недоліку, якщо використати рекуперацію повітряного потоку, який уже пройшов коло аерації. На цей шлях вказує та обставина, що в режимі барботажної аерації коефіцієнт вилучення кисню з газової фази суттєво обмежений і не перевищує 0,5% на 1 м висоти рідинної фази.

Однак при цьому необхідно здійснювати лише часткову рекуперацію, додаючи в циркуляційний контур частку свіжого повітря. Якщо повітродувна машина на вході буде мати збільшений тиск, то її енерговитрати регламентуються тільки перепадом тисків на виході і на вході, що, власне, і забезпечить зменшення питомих енерговитрат. Поповнення системи свіжою часткою повітря можливе, наприклад, за рахунок її підсмоктування в ежекторі на ділянці нагнітання.

Оцінка переваг роботи системи аерації в умовах підвищених тисків з обмеженими енерговитратами на приведення в дію повітродувних машин дає змогу зробити висновок про доцільність створення і використання компресорів-детандерів. Відпрацьоване повітря за таких умов не повертається на процес аерації, а зі збільшеним тиском передається на детандер, приводить його ротор в обертальний рух за рахунок трансформації потенціальної енергії в кінетичну (рис. 1).

Для можливості роботи під тиском апарат герметизується перекриттям витяжної труби 3 і в газовому просторі тиск підвищується до заданого максимуму, що регулюється клапаном-регулятором 8, після чого повітря потрапляє у циклон, в якому здійснюється відокремлення крапель середовища, а потім спрямовується в детандер 10 компресора-детандера 9, де розширюється до атмосферного тиску, віддаючи свій енергетичний потенціал і обмежуючи споживання електроенергії двигуном 12.



**Рис. 1. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів з компресором-детандером:**

- 1 — апарат; 2 — барботаажний аератор; 3 — витяжна труба; 4 — патрубок підведення живлення; 5 — патрубок відведення культурального середовища; 6 — сорочка охолодження; 7 — циклон; 8 — клапан-регулятор; 9 — компресор-детандер; 10 — детандер; 11 — компресор; 12 — двигун

Для можливості роботи під тиском апарат герметизується перекриттям витяжної труби 3 і в газовому просторі тиск підвищується до заданого максимуму, що регулюється клапаном-регулятором 8, після чого повітря потрапляє у циклон, в якому здійснюється відокремлення крапель середовища, а потім спрямовується в детандер 10 компресора-детандера 9, де розширюється до атмосферного тиску, віддаючи свій енергетичний потенціал і обмежуючи споживання електроенергії двигуном 12.

До числа загально визнаних методів інтенсифікації масообміну в газорідних середовищах значних об'ємів відноситься накладання пульсацій через зміну тисків над ними. Газорідні системи при цьому виступають у ролі пружних середовищ за рахунок деформацій диспергованої газової фази. При цьому важливо, що вказані зміни тисків знаходять відгук стосовно кожної бульбашки незалежно від координат її розташування і збільшують швидкість оновлення міжфазної поверхні. Деформації газової фази в таких умовах і залежно від швидкості зміни тисків можуть бути наближеними до адіабатних або до ізотермічних процесів.

Зміна поверхні поділу фаз і сталої насичення  $c_n$  за інших рівних умов відгукуються на рівнях швидкості розчинення кисню. На основі використання рівняння масообміну і визначених трансформацій міжфазної поверхні та рушійного фактора одержано залежності для оцінки сукупних впливів змін тиску.

Вивчення й аналіз літературних джерел стосовно гідродинаміки двофазних систем дає змогу стверджувати, що в умовах аерації середовищ значної висоти виникають особливості взаємодії газових середовищ з рідинним середовищем. В узагальненнях [5; 6] пропонується швидкість відносного руху бульбашок у рідинній фазі вважати величиною, наближеною до сталої. Однак у такому припущенні закладена похибка, пов'язана з деформацією бульбашок під дією гідростатичних тисків. Адже відомо, що усталеному руху повинна відповідати рівність архімедової сили і сили опору середовища. Однак архімедова сила пропорційна кубу діаметра бульбашки, а опір середовища — лише квадрату діаметра. Це озна-

чає, що в міру спливання бульбашки її відносна швидкість повинна зростати. Відгуком рідинної фази на зростання відносної швидкості буде збільшення швидкості складових газорідинних циркуляційних контурів. Таким чином, змінні значення гідростатичних тисків, які супроводжують спливання газових бульбашок, через зміну розмірів останніх приводять до порушення стаціонарних умов кінематичних параметрів контурів. Наслідком зміни швидкостей (і наявності прискорень) є виникнення масових сил у формі сил інерції. При цьому за прискореного руху середовища сили інерції мають спрямування, що збігається з вектором сил тяжіння. Сукупне потенціальне поле сил тяжіння і сил інерції приводить до збільшення сумарного тиску, під яким знаходиться диспергована газова фаза. Важливо, що за вказаних умов з розширенням газових бульбашок прискорення зростає і наростає сукупна дія вказаних потенціальних полів. Такий результат є своєрідною формою прояву принципу Ле Шательє, оскільки збурення системи обмежує саме збурення.

Аналіз сполучення потенціальних полів сил тяжіння і масових сил приводить до висновку про те, що їх об'єднання спричиняє зміни градієнта гідростатичного тиску. Це означає можливість впливу на гідродинаміку системи через закон Архімеда.

Останній висновок узгоджується з відомим явищем, коли за рахунок накладання вібрацій на газорідинне середовище вдається не лише уповільнити спливання газових бульбашок, а навіть припинити або здійснити їх опускний рух у рідинній фазі.

Досвід математичної теорії тертя [7] стосовно механічних систем вказує на можливість суттєво впливати на складові сил тертя в різних напрямках за умови складного відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого. Перехід від плоского руху до об'ємних переміщень у загальному результаті підлягає таким же закономірностям. Це означає можливість впливу на вертикальну складову сил опору середовища у своїй дії на дисперговану газову фазу або на окрему бульбашку.

Генерування масових сил у газорідинних середовищах можливе не лише за рахунок деформації диспергованої газової фази під дією гідростатичних тисків, а й за рахунок створення висхідних і опускних потоків спеціальної форми. Однак найвагоміші результати у цьому напрямку можливі на шляху використання криволінійних газорідинних потоків з обмеженими радіусами кривини. При цьому навіть за швидкостей, обмежених кількома м/с генеруються потенціальні поля сил інерції, які в кілька разів або на порядок переважають аналогічні характеристики поля тяжіння.

Вся сукупність процесів, яка має місце в технологіях синтезу мікроорганізмів, відбувається завдяки безперервним трансформаціям енергетичних потоків. При цьому щодо останніх визначено два джерела. Перший з них визначено як джерело хімічної енергії, представлене компонентами вуглецевого живлення в сукупності з мінеральними з'єднаннями та хімічними елементами, а другим є зовнішнє джерело, що забезпечує подавання матеріального потоку повітря, який виконує роль носія вхідного енергетичного потоку.

Експериментальні дослідження виконувалися з метою перевірки адекватності окремих теоретичних положень і висновків, одержаних на основі феноменологічних міркувань.

В умовах барботажних режимів аерації рідинних середовищ за інших рівних умов принципове значення має величина газотримувальної здатності газової фази, оскільки вона корелює з величиною міжфазної поверхні та інтенсивністю масопередавання. Спроби підвищити утримувальну здатність пов'язані з накладанням обмежень на швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах, що призводить, у свою чергу, до обмеження абсолютних швидкостей газової фази,



яка у вигляді бульбашок спливає під дією сил Архімеда. Оскільки величина відносної швидкості спливання диспергованої газової фази з певним наближенням може вважатися сталою, то це означає, що додаткове її підвищення можливе тільки за рахунок винесення в циркуляційних рідинних контурах (принцип суперпозиції). При цьому очевидно, що певна роль належить показнику, який будемо називати фактором нерівномірності розподілу газової фази по поперечному перерізу і визначати відношенням плоскої барботажної поверхні  $S_{\sigma.n.}$  до площі поперечного перерізу апарата  $S_{an}$ . Нехай

$$\beta = \frac{S_{\sigma.n.}}{S_{an}}. \quad (1)$$

Для виконання оцінки впливу на величину газотримувальної здатності  $u$  в лабораторних умовах визначалася залежність

$$u = u(\beta, w_{np}), \quad (2)$$

де  $w_{np}$  — приведена швидкість газової фази.

Лабораторний стенд, схема якого приведена на рис. 2, представлений прозорим реактором 1, виконаним з органічного скла діаметром 300 мм з плоскою аераційною системою 2, забезпеченою можливістю довільного блокування частини барботажних отворів, повітродувною машиною 3, ротаметром РС-7 4, відповідними трубопроводами 5 та засобами виміру висоти рідинної фази або газорідинної суміші в реакторі 6. Дінець реактора до корпусу приєднується через фланцеве з'єднання для можливості монтажу і демонтажу аераційної системи. В плані остання має форму квадрата, який вписується в поперечний переріз реактора. Діаметр барботажних отворів прийнято рівним 2 мм. Сторона квадрата плоскої аераційної системи при цьому складає:

$$a = R\sqrt{2}, \quad (3)$$

де  $R$  — радіус циліндричної поверхні реактора.

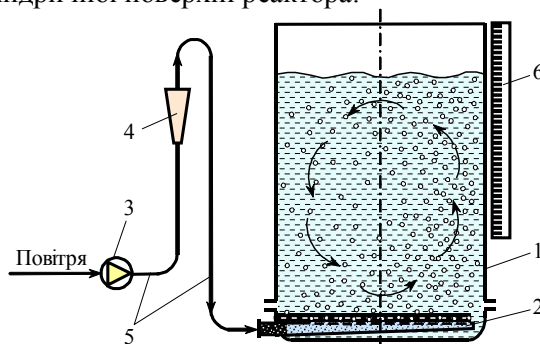


Рис. 2. Схема лабораторного стенда до оцінки впливу нерівномірності газового потоку на величину утримувальної здатності газової фази

Крок розташування барботажних отворів  $t$  прийнято рівним 15 мм. Оскільки маємо  $a = 150\sqrt{2} = 212,1$  мм, то на стороні  $a$  крок розміщується  $212 : 15 = 14$  разів. Тоді кількість барботажних отворів  $z = 14^2 = 196$ . Загальна площа отворів при цьому становить:

$$f_{оме} = \pi R^2 z = 3,14 \cdot 0,001^2 \cdot 196 = 615 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Одержане значення при швидкості газової фази в отворах  $w_{оме} = 10$  м/с дає змогу визначити величину газового потоку:

$$V_{газ} = f_{оме} w_{оме} = 615 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 0,00615 \text{ м}^3/\text{с},$$

що забезпечить величину приведенної швидкості

$$w_{np} = \frac{V_{газ}}{S_{ан}} = \frac{0,0165}{3,14 \cdot 0,15^2} = 0,087 \text{ м/с}.$$

Результати експериментальних досліджень представлені у табл. 1 та на рис. 3 і 4.

Таблиця 1. Залежність утримувальної здатності від величини  $\beta$  при  $w_{np} = 0,087$  м/с

$\beta$	0,64	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Висота набухання шару $\Delta H$ , м	0,102	0,1	0,096	0,092	0,0865	0,0795	0,07	0,055
Утримувальна здатність $u$ , м <sup>3</sup>	0,00721	0,00707	0,00678	0,0065	0,0062	0,0056	0,00495	0,00389

Величина газотримувальної здатності розраховується через значення набухання газорідинного шару  $\Delta H$ :

$$u = \Delta H S_{ан}. \quad (4)$$

Як видно з одержаних графіків, фактор нерівномірності розподілу газового потоку суттєво впливає на параметри гідродинаміки газорідинного середовища, збільшуючи енергію циркуляційних контурів. Проте з точки зору інтересів масообміну і розчинення кисню це не має позитивних наслідків, оскільки за виконання принципу суперпозиції відносна швидкість газової фази не зростає.

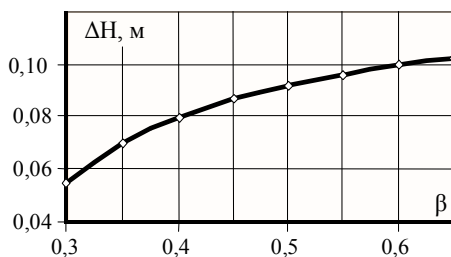


Рис. 3. Графік залежності висоти набухання  $\Delta H$  від фактора нерівномірності  $\beta$  при  $w_{np} = 0,087$  м/с

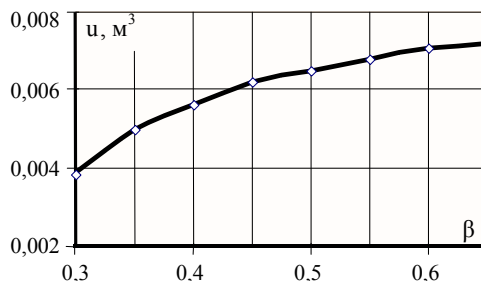


Рис. 4. Графік залежності утримувальної здатності від фактора нерівномірності  $\beta$  при  $w_{np} = 0,087$  м/с

У табл. 2 наведено дані розрахунків з визначення абсолютної швидкості газової фази. При цьому час спливання газових бульбашок  $\tau_{спл}$  визначався через параметр утримувальної здатності і величину газового потоку:

$$\tau_{спл} = u/V_{газ}. \quad (5)$$

**Таблиця 2. Розрахункові дані для визначенню часу спливання і абсолютної швидкості газової фази за значення  $w_{np} = 0,087$  м/с**

$\beta$	0,64	0,6	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
$H + \Delta H$ , м	0,402	0,4	0,396	0,392	0,387	0,38	0,37	0,36
$\tau_{cпл}$ , с	1,17	1,149	1,102	1,057	1,008	0,911	0,805	0,633
$w_{абс}$ , м/с	0,344	0,348	0,359	0,371	0,384	0,405	0,46	0,561
$W_{pid}$ , м/с	0,094	0,098	0,109	0,121	0,134	0,155	0,21	0,311

Абсолютна середня швидкість газової фази розраховувалася з урахуванням висоти шару  $H + \Delta H$

$$w_{абс} = \frac{H + \Delta H}{\tau_{cпл}}. \quad (6)$$

Результати розрахунків показують, що абсолютна швидкість суттєво перевищує величину відносної швидкості, яка для системи «вода–повітря» складає близько 0,25 м/с.

Оскільки абсолютна швидкість спливання бульбашок визначається сумою відносної швидкості і швидкості рідинної фази, то

$$w_{pid} = w_{абс} - w_v. \quad (7)$$

Дані щодо значень  $w_{pid}$  внесено до табл. 2. Циркуляційне перемішування стосується всієї маси рідинної фази:

$$m_{pid} = \rho_{pid} S_{ан} H, \quad (8)$$

де  $\rho_{pid}$  — питома маса рідинної фази, кг/м<sup>3</sup>.

З певним наближенням на основі принципу найбільш імовірного стану будемо вважати, що вся маса має швидкість  $w_{pid}$ . Тоді кінетичну енергію циркуляційних контурів знайдемо за виразом:

$$E_{кін} = m_{pid} w_{pid}^2 / 2. \quad (9)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$m_{pid} = 1000 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \cdot 0,3 = 21,195 \approx 21,2 \text{ кг.}$$

Отримані результати вказують на те, що зі зростанням рівня нерівномірності розподілу газової фази по перерізу середовища зростають енергетичні витрати на перемішування (табл. 3 і рис. 5), які не супроводжуються позитивним результатом у цільовому напрямку.

**Таблиця 3. Розрахункові дані для оцінки енергії циркуляції і перемішування середовища**

$\beta$	0,64	0,6	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
$E_{кін}$	0,0937	0,102	0,126	0,155	0,19	0,255	0,467	1,025

З метою одержання аналітичних залежностей  $\Delta H = \Delta H(\beta)$  та  $w_{pid} = w_{pid}(\beta)$  скористаємося даними табл. 1 та 2, за якими сформована табл. 4.

Відомо [3], що залежність  $\lg(1/\Delta H) = f(\beta)$  має лінійний характер виду:

$$\lg(1/\Delta H) = A_0 - m\beta. \quad (10)$$

Таблиця 4. Результати обробки експериментальних даних

$\beta$	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
$\Delta H$	0,1	0,096	0,092	0,087	0,074	0,07	0,055
$\lg(1/\Delta H)$	1,0	1,0177	0,036	1,063	1,1	1,155	1,26
$w_{pid}$	0,098	0,109	0,121	0,134	0,155	0,21	0,311
$\lg(1/w_{pid})$	1,0088	0,9626	0,917	0,875	0,81	0,678	0,507

Скориставшись даними табл. 4, одержуємо:

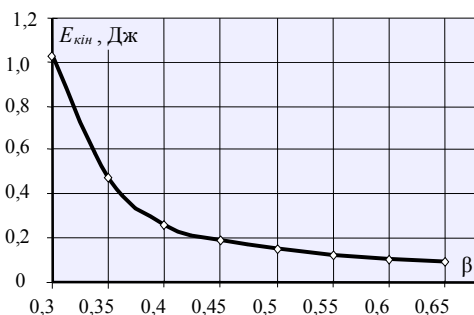


Рис. 5. Графік залежності кінетичної енергії рідинної фази від фактора нерівномірності  $\beta$

$$1 = A_0 - 0,6m; \quad 1,26 = A_0 - 0,3m. \quad (11)$$

Маємо систему з двох рівнянь з двома невідомими, звідки визначаємо

$$A_0 = 1,52; \quad m = 0,867.$$

Таким чином,

$$\lg \frac{1}{\Delta H} = 1,52 - 0,867\beta$$

або

$$10^{(1,52-0,867\beta)} = \frac{1}{\Delta H}; \quad \Delta H = 10^{-a},$$

де  $a = 1,52 - 0,867\beta$ .

Отже, одержані експериментальні дані підтверджують положення про важливість досягнення рівномірного розподілу газової фази по поперечному перерізу апаратів, а числові співвідношення в залежностях параметрів слід розглядати як перше наближення, яке з переходом до розмірів промислових апаратів потребує уточнення.

#### Висновки.

1. Інтенсифікація масообмінних процесів пов'язана з можливістю механічних впливів на газорідинні середовища. До числа важливих гідродинамічних

характеристик відносяться взаємопов'язані вхідний аераційний потік, газоутримувальна здатність і швидкість спливання диспергованої газової фази.

2. Рівень інтенсивності аерації середовищ оцінюється показником приведеної швидкості газової фази у формі відношення потоку повітря (в  $\text{м}^3/\text{с}$ ) до площі поперечного перерізу реактора (в  $\text{м}^2$ ).

3. Збільшення гідростатичного тиску культурального середовища супроводжується нелінійним зростанням сталої насичення рідинної фази киснем. Доцільним напрямком інтенсифікації масообміну по кисню є загальне збільшення тиску в системі за використання компресора-детандера.

4. Накладання пульсацій на газорідинне середовище за рахунок створення змінних тисків у вихідному газовому потоці є важливим повнооб'ємним фактором інтенсифікації.

5. Регульовальні впливи на рівні циркуляційних контурів формують інерційні поля масових сил.

6. Рівномірність розподілу вхідного повітряного потоку по перерізу реактора є важливим засобом впливу на гідродинаміку середовища, його енергетичний потенціал та інтенсивність масообмінних процесів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Андерсен Д.* Вычислительная гидродинамика и теплообмен / Д. Андерсен, Дж. Таннехия, Р. Плетчер ; пер. с англ. — М. : Мир, 1990. — Т. 1. — 384 с., Т. 2. — 392 с.

2. *Кафаров В.В.* Принципы математического моделирования химико-технологических процессов / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. — М. : Наука, 1974. — 344 с.

3. *Корн Г.* Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. — М. : Наука, 1970. — 720 с.

4. *Скрипов В.П.* Метастабильная жидкость / В. П. Скрипов. — М. : Наука, 1972. — 312 с.

5. *Федоткин И.М.* Методы расчета реакторов пищевой технологии / И.М. Федоткин. — К. : Вища школа, 1978. — 200 с.

6. *Піддубний В.А.* Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв : автореф. дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / Піддубний Володимир Антонович; НУХТ. — К., 2008. — 47 с.

7. *Соколенко А.І.* Моделирование процессов пакувания / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 272 с.

## **ГИДРОДИНАМИКА И МАССООБМЕН В ПРОЦЕССАХ АЭРОБНОГО БРОЖЕНИЯ**

**А.И. Соколенко, В.А. Поддубный, О.И. Степанец**

*Национальный университет пищевых технологий*

**Л.И. Головкина**

*Уманский национальный университет садоводства*

*В статье приведены результаты феноменологических и экспериментальных исследований, касающихся особенностей комплексной оценки гидродинамики процессов аэробного брожения с принудительным образованием газожидкостных сред. Экспериментальная часть исследований касалась оценки воздействия фактора неравномерности распределения входящих воздушных потоков по сечению реактора. Приведены данные по взаимосвязям воздушных потоков, газодерживающей способности, скорости всплытия диспергированной газовой фаз и энергетических потенциалов сред.*

**Ключевые слова:** *аэрация, аэробное брожение, газодерживающая способность, циркуляционный контур, скорость, энергия.*

УДК 641.526.7

## RESEARCH PROCESSES ELECTRO-CONTACT PROCESSING MEAT

**I. Babanov, E. Babanova***National University of Food Technologies***V. Mikhaylov, A. Shevchenko***Kharkiv State University of Food Technology and Trade***Key words:**

electric heating,  
heat treatment,  
minced meat,  
coagulation,  
electrical conductivity,  
farsherozpodilnyy unit

**Article history:**

Received 24.06.2017

Received in revised form  
21.09.2017

Accepted 06.11.2017

**Corresponding author:**

igbabanov@ukr.net

**ABSTRACT**

The article contains a description of physical methods of heat treatment including heating electrocontact currents of industrial frequency that does not require any change frequencies and simplifies technical execution units for thermal processing of meat, increases the efficiency and speed of heating, access control and regulation energy parameters. It is known that used in the chamber of thermal treatment of sausage products working mixture shows a soba the heterogeneous binary system. The processes of heat exchange are accompanied by devaporation from moist air on the surface of wares or evaporation of liquid. However the presence of stream of working mixture influences on character of flowing of mixture in a maximum layer, on intensity of processes heat and mass transfer, so that predominating is a convective heat exchange for this type of flow.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ОБРОБЛЕННЯ М'ЯСОПРОДУКТІВ

**І.Г. Бабанов, канд. техн. наук****О.І. Бабанова***Національний університет харчових технологій***В.М. Михайлов, д-р техн. наук****А.О. Шевченко, канд. техн. наук***Харківський державний університет харчування та торгівлі*

Стаття містить опис фізичних методів теплового оброблення, зокрема електроконтактного нагрівання струмами промислової частоти, що не вимагає застосування яких-небудь перетворень частоти струму і значно спрощує технічне виконання установок для теплового оброблення м'ясопродуктів, підвищує ККД і швидкість їх нагрівання, доступність контролю і регулювання енергетичних параметрів.

**Ключові слова:** електроконтактне нагрівання, теплове оброблення, м'ясний фарш, коагуляція, електропровідність, фаршорозподільний блок.

**Постановка проблеми.** Серед великої кількості актуальних проблемних питань в м'ясопереробній галузі одне з провідних місць посідає зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів під час виробництва ковбасних виробів. Подальший розвиток галузі потребує підвищення технічного рівня підприємств

шляхом впровадження результатів наукових досліджень, виконаних за напрямом енерго- та ресурсозбереження.

Це призведе до підвищення продуктивності праці, покращить якість м'ясних продуктів і виведе м'ясопереробну промисловість на новий, більш високий рівень.

Альтернативним способом вирішення цих завдань є застосування нових фізичних методів оброблення ковбасних виробів. Здебільшого для цих методів характерна інтенсифікація технологічного процесу, незначні енерговитрати й високий ступінь механізації й автоматизації.

**Мета дослідження:** із широкого асортименту ковбасної продукції близько 75...85% виробів, на окремих етапах виробництва, проходить стадію теплового оброблення. Тривалість термооброблення у більшості випадків є відносно значною, питомі витрати теплоти можуть складати 1000 кДж/кг та більше. Унаслідок цього наведені процеси й апарати є малоефективними і потребують удосконалення. Вирішення цього завдання можливе шляхом розширення застосування комбінованих процесів, розроблених з урахуванням особливостей як традиційних, так і нетрадиційних методів оброблення, наприклад, електроконтактного нагрівання. Застосування з цією метою струму промислової частоти (50 Гц) є технічно більш простим і економічно доцільним порівняно з методами контактного і безконтактного нагріву струмами підвищених, високих частот і НВЧ.

**Матеріали і методи.** Електроконтактне нагрівання, що знайшло впровадження на м'ясопереробних підприємствах, обмежується досягненням температури виробу 100° С, тому отримані вироби мають властивості вареної продукції. Виробництво м'ясопродуктів, зокрема ковбасних виробів з властивостями жареної продукції, потребує подальшого оброблення із застосуванням додаткових високотемпературних методів нагрівання. Існуючі апарати з електроконтактним нагрівом у більшості мають досить великі габарити, що не дає змоги застосувати їх на м'ясопереробних підприємствах малої потужності та на підприємствах ресторанного господарства. У зв'язку з цим набуває актуальності науково-прикладне завдання, пов'язане з інтенсифікацією процесів теплового оброблення та зниженням енерговитрат під час виробництва м'ясопродукції.

М'ясопродукти являють собою неоднорідні, гетерогенні системи, властивості кожного компонента та їх електропровідність різні. Тому здійснення однофазного процесу електроконтактного нагрівання ковбасних виробів пов'язане з виключенням побічних явищ, що відбуваються одночасно і що є досить складним завданням.

Ефективність термооброблення (коагуляції) ковбасного фаршу залежить від двох факторів: правильного вибору середовища, що нагріває — теплоносія та температурно-часового режиму. Останній містить у собі швидкість нагрівання фаршу до певної температури.

Специфічність електроконтактного нагрівання полягає у швидкому підвищенні температури по всьому об'єму виробу. Одночасно з нагріванням фаршу відбувається його коагуляція. Вироби, що підлягають електроконтактному нагріванню, мають пружну консистенцію й зберігають форму при подальшому обробленні. Використання процесу електрокоагуляції ковбасного фаршу у формах спрощує створення автоматизованого обладнання для виготовлення ковбасних виробів і надає можливість відмовитися від застосування оболонки, тому що тепло генерується безпосередньо в продукті. При цьому дотримуються вимоги до продукту: збереження притаманного смаку, кольору, аромату; мінімізація втрат маси в прийнятих межах.

Важливою характеристикою для прогнозування процесу електроконтактного нагрівання є електричні показники. Для цих цілей найбільш зручно використовувати величину питомої електропровідності.

Перебіг процесу електроконтактного теплового оброблення ковбасних виробів і кінцевий технологічний ефект значною мірою залежать від вологовмісту фаршу (відношення маси води до маси сухої речовини в частках одиниці), градієнтів тиску й напруги. У процесі електронагріву вологовміст змінюється, прикладений тиск сприяє відпресовуванню вологи з коагулюючої системи. Об'ємна густина готового виробу залежить від початкового вологовмісту. Після відділення вологи залишаються капіляри й мікропорожнини. Оскільки основне відділення вологи починається при денатурації білків, тобто коли система переходить у пружний стан, зниження тиску викликає розширення капілярів і виріб виходить більш пухким і пористим. Щільність готового ковбасного виробу залежить від відносної зміни вологовмісту.

Сила струму при варінні не залишається постійною, збільшуючись у 2,5... 4 рази, що пов'язано з температурною зміною електропровідності.

Тривалість електрокоагуляції фаршу для виготовлення ковбасних виробів без оболонки залежить від геометричних, динамічних та електричних факторів. Для розрахунку продуктивності електрокоагулятора використовували формулу для апаратів періодичної дії. Одночасно нами було проведено дослідження розподілення ковбасного фаршу в електрокоагуляторі.

**Результати досліджень.** З метою створення математичної моделі руху ковбасного фаршу в електрокоагуляторі нами була запропонована геометрична об'ємна модель відомої конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора (рис. 1) у програмі SolidWorks 2008. Для дослідження та отримання найбільш оптимальної форми фаршорозподільного блока електрокоагулятора з конструктивних міркувань було створено три найбільш раціональні конструкції.

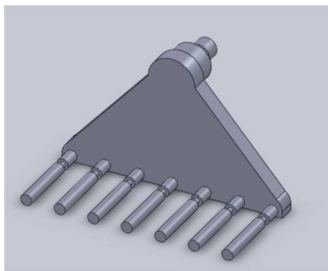


Рис. 1. Промислова конструкція фаршорозподільного блока електрокоагулятора

За допомогою системи SolidWorks 2008 ми змінювали конфігурацію фаршорозподільного блока, удосконалюючи конструкцію (рис. 2, 3, 4).

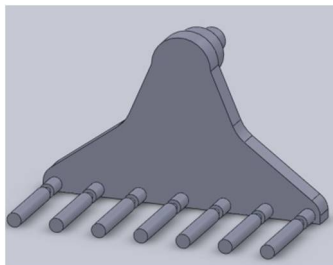
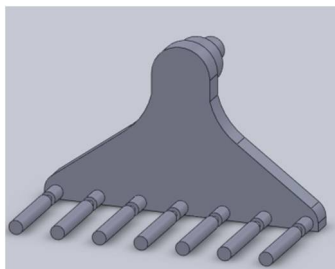
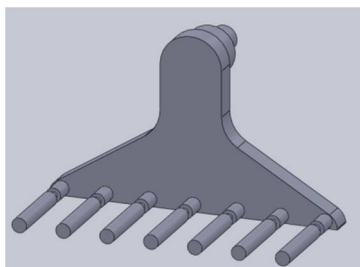


Рис. 2. Перший варіант конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора





**Рис. 3.** Другий варіант конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора



**Рис. 4.** Третій варіант конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора

Конструктивні зміни конструкції привели до збільшення тиску, а отже і швидкості проходження фаршем фаршорозподільного блока і потрапляння останнього до семи гільз.

У результаті проведеного розрахунку нами встановлено, що за розподілом модуля швидкості найкращі показники спостерігались у другому і третьому варіантах конструкцій. Максимальна швидкість становила, відповідно, 2,84 та 2,37 м/с, що є значно більше за показники у першому варіанті конструкції, де вона становить 2,15 м/с. Різниця швидкостей між центральною та крайніми гільзами в цих варіантах конструкції порівняно із першим варіантом також є кращими — 1,08 м/с та 1,1 м/с порівняно із 1,94 м/с. Суттєвою різницею між конструкціями є те, що в другій конструкції максимальні швидкості фаршу розвиваються в центральній гільзі і поступово зменшуються до крайніх гільз, а в третьому варіанті конструкції все відбувається навпаки. Максимальні показники модуля швидкості спостерігаються в крайніх гільзах і поступово зменшуються до центру.

За розподілом тиску найкращі показники можна відмітити в другому варіанті конструкції. Максимальний тиск тут досягає 374065 Па, що є значно більше від інших варіантів конструкцій — 328835 Па та 343792 Па. До цього значення може наблизитись лише максимальне значення повного тиску в третьому варіанті конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора, яке становить 369808 Па. Але в цьому варіанті значна різниця між максимальним та мінімальним тисками і вона становить 39737 Па. Аналогічна різниця в другому варіанті становить 810 Па.

Ці дослідження показують, що за технологічними показниками найбільш рівномірне розподілення фаршу у всіх семи гільзах блоку відбуваються при застосуванні другого варіанта конструкції. Фарш практично одночасно, плавно заповнює всі гільзи. Це збільшує швидкість нагнітання фаршу в гільзи, що, у свою чергу, підвищує продуктивність роботи пристрою, а отже, і його економічну ефективність. Всі сім виробів мають однакову структуру й однакові стандартні органолептичні та якісні показники.

Запропонований другий варіант конструкції фаршорозподільного блока електрокоагулятора є найбільш оптимальним і раціональним для застосування в електрокоагуляторі для виготовлення ковбасних виробів без оболонки.

**Висновки.** Електроконтактне нагрівання — перспективний метод теплового оброблення ковбасних виробів. Проведені дослідні роботи і зарубіжний досвід експлуатації подібних пристроїв підтверджують можливість організації поточно-механізованих ліній, скорочення часу оброблення, зменшення виробничих витрат і площ, зниження собівартості готової продукції.

Встановлено, що електроконтактне нагрівання м'ясопродуктів струмами промислової частоти може бути успішно використано для теплового оброблення м'ясних хлібів, сосисок, сардельок та інших варених ковбасних виробів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Рогов И.А.* Новые физические методы обработки пищевых продуктов / Рогов И.А., Горбатов А.В. — Москва : Пищ. пром., 1981 г. — 288 с.
2. Ohmic heating as an alternative food processing technology: a report / D. R. Anderson. — Manhattan : Kansas State University, 2008. — 45 p.
3. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини: монографія в 3 ч. Ч. 2. Використання електроконтактного нагрівання в процесах жарення кулінарної продукції / О.І. Черевко [та ін.]; за заг. ред. О.І. Черевка, В.М. Михайлова. — Х. : ХДУХТ, 2012. — 151 с.
4. *Бабанов І.Г.* Дослідження процесів теплової обробки сирокочених ковбас в потоці при пульсуючій подачі робочої суміші / І.Г. Бабанов // Наукові праці НУХТ. — 2012. — № 43. — С. 44—47.
5. Програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». Прогресивні електрофізичні методи теплового впливу на харчову сировину / І. Бабанов, В. Михайлов, А. Шевченко. — К. : НУХТ, 2014 р. — Ч. 2. — 68—70 с.
6. Усовершенствование производства колбасных изделий с применением электрофизических методов обработки / І.Г. Бабанов, О.І. Бабанова, В.М. Михайлов, А.О. Шевченко // Scientific Works of University of Food Technologies. — Plovdiv, 2015. — V. LXII. — P. 763—766.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ МЯСОПРОДУКТОВ

**И.Г. Бабанов, Е.И. Бабанова**

*Национальный университет пищевых технологий*

**В.М. Михайлов, А.А. Шевченко**

*Харьковский государственный университет питания и торговли*

*Статья содержит описание физических методов теплового обрабатывания, в частности электроконтактного нагревания токами промышленной частоты, которая не требует применения каких-либо превращений частоты тока и значительно упрощает техническое выполнение установок для теплового обрабатывания мясопродуктов, повышает КПД и скорость их нагревания, доступность контроля и регуляции энергетических параметров.*

**Ключевые слова:** *электроконтактное нагревание, тепловое обрабатывание, мясной фарш, коагуляция, электропроводимость, фаршераспределяющий блок.*

УДК 663.93.011

## STUDY OF JERUSALEM ARTICHOKE TUBERS THERMAL PROCESSING

N. Ivchuk, A. Bashta, A. Ushchapovskyi

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

artichoke,  
coffee drinks,  
roasting,  
physical and chemical  
parameters,  
organoleptic indicators

**Article history:**

Received 24.03.2017  
Received in revised form  
21.04.2017  
Accepted 11.05.2017

**Corresponding author:**

vira.nadija@gmail.com

---

**ABSTRACT**

This article is devoted to the problem of a new taste aromatic product based on roasted Jerusalem artichoke tubers. It is known that in the process of roasting carbohydrate containing materials produced products that have flavor and aroma characteristics similar to those of roasted coffee beans.

Roasting artichoke tubers conducted in the temperature range 160...180 degrees respectively for 15...35 min. According to the evaluation criteria fried product was chosen following physicochemical parameters like weight loss product during frying, the content of extractives aqueous extract, the optical density of the aqueous extract and its pH. Also held tasting score aqueous extracts of roasted Jerusalem artichoke tubers.

It has been investigated experimentally and proved scientifically that in order to get quality product the artichoke tubers roasting process for making coffee drinks should be carried out at 180° C for 15 minutes.

---

## ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ БУЛЬБ ТОПІНАМБУРУ

Н.П. Івчук, канд. техн. наук

А.О. Башта, канд. техн. наук

А.О. Ущাপовський, асистент

Національний університет харчових технологій

*Стаття присвячена проблемі отримання нового смакоароматичного продукту на основі обсмажених бульб топінамбуру. Відомо, що в процесі обсмажування вуглеводовмісної сировини утворюються продукти, які мають смак та аромат, близький до цих характеристик в обсмажених зернах кави. Експериментально досліджено та науково обґрунтовано, що для отримання якісного продукту процес обсмажування бульб топінамбуру для виготовлення кавових напоїв необхідно проводити при температурі 180° C протягом 15 хв.*

**Ключові слова:** топінамбур, кавові напої, обсмажування, фізико-хімічні показники, органолептичні показники.

**Постановка проблеми.** Топінамбур — бульбоносна рослина з унікальним хімічним складом і властивостями. Напівфабрикати з бульб топінамбуру сьогодні часто включають до рецептури різноманітних харчових продуктів [1—6].

Напої є невід'ємною складовою раціону харчування людини. Вони здатні не тільки втамувати спрагу, наповнювати організм такими мікронутрієнтами, як

вітаміни, мінеральні речовини, антиоксиданти, органічні кислоти та інші біологічно активні речовини (БАР), а й тонізувати та приносити задоволення. До тонізуючих напоїв відносяться кавові напої, які користуються особливим попитом серед населення.

Кавові напої — це порошкоподібні суміші, які складаються з обсмажених і розмелених кавових зерен, зерна злакових культур (ячмінь, жито, пшениця, овес), ядер кісточкових плодів, коренеплодів цикорію, бульб топінамбуру тощо [7—10].

Питання з підготовки коренеплодів цикорію для виготовлення кавових напоїв були ґрунтовно вивчені ще в ХХ ст.. [11].

Питаннями з підготовки бульб топінамбуру (висушування, обсмажування) займалися опосередковано, разом з іншою рослинною сировиною.

**Метою дослідження** є визначення оптимальних параметрів термічного оброблення бульб топінамбуру для виготовлення кавових напоїв.

**Матеріали і методи.** Обсмажування бульб топінамбуру проводили в інтервалі температур 160...180° С протягом 15...35 хв. За критерії оцінки обсмаженого продукту було обрано такі фізико-хімічні показники, як втрати маси продукту при обсмажуванні, вміст екстрактивних речовин водного екстракту, оптична густина водного екстракту та його рН. Також проводилась дегустаційна оцінка водних екстрактів із обсмажених бульб топінамбуру. Визначення фізико-хімічних та органолептичних показників проводили за загальноприйнятими методиками [12].

**Результати досліджень.** Процес обсмажування є головною операцією при виробництві всіх кавових напоїв. Перед тим, як обсмажувати сировину, її сушать при температурі 50...60° С, потім подрібнюють на частинки розміром 10...15 мм. Під час обсмажування відбувається ряд фізико-хімічних змін у складі обсмаженого продукту. Спостерігаються зміни смаку, утворення ароматичних речовин, змінюється забарвлення продукту [7].

Результати досліджень процесу обсмажування висушених бульб топінамбуру зображено на рис. 1—4.

Залежність оптичної густини та рН водних екстрактів від тривалості обсмажування бульб топінамбура при температурі 165° С наведено на рис. 1.

Залежність вмісту екстрактивних речовин у водному екстракті і втрат маси сировини від тривалості обсмажування бульб топінамбура при температурі 165° С наведено на рис. 2.

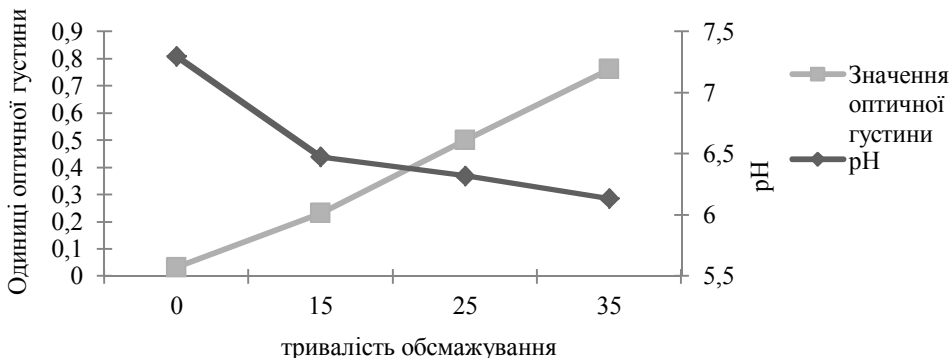
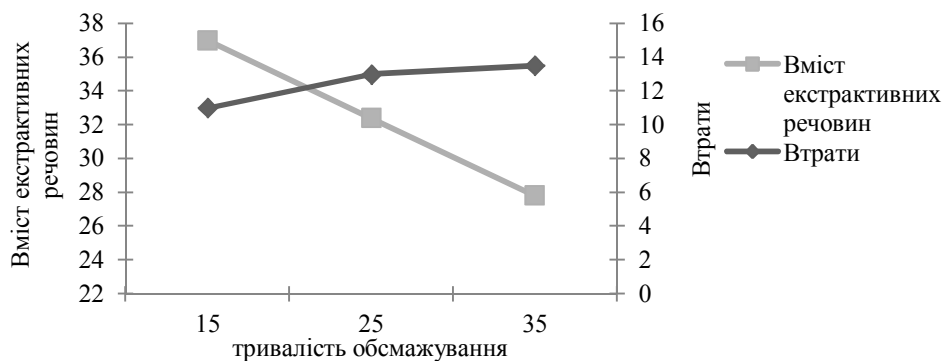


Рис. 1. Зміна оптичної густини та рН водних екстрактів від тривалості обсмажування бульб топінамбура при температурі 165° С

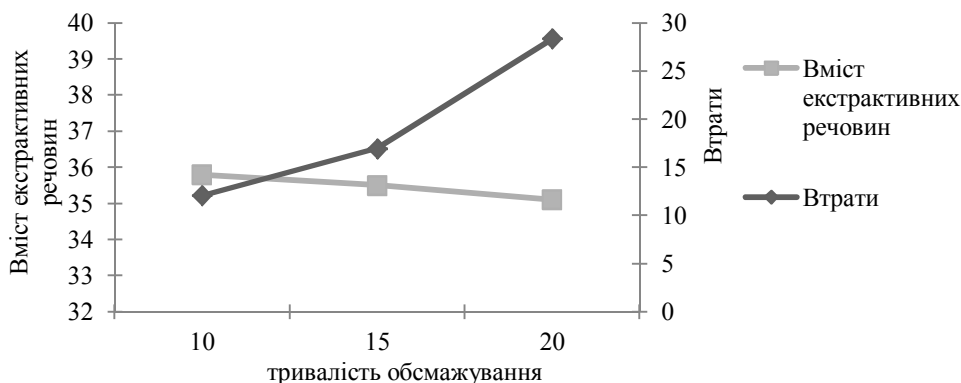


**Рис. 2.** Зміна вмісту екстрактивних речовин водного екстракту і втрат маси сировини від тривалості обсмажування бульб топінамбуру при температурі 165° С

З результатів досліджень, які наведені на рис. 1, випливає, що оптична густина досліджуваних екстрактів прямо пропорційно залежить від тривалості процесу обсмажування бульб топінамбуру. Вміст екстрактивних речовин у продукті, що був обсмажений при 165° С, має обернено пропорційну залежність до тривалості обсмажування. З рис. 2. видно, що вже при 25 хв обсмажування досліджуваних зразків вміст екстрактивних речовин зменшився на 6,7%, а при 35 хв обсмажування — на 11%. Із залежностей, наведених на рис. 2, випливає, що втрати маси продукту при обсмажуванні бульб топінамбуру при температурі 165° С поступово зростають, що можна пояснити втратою вологи і термічним розкладанням органічних речовин. Отже, чим більша тривалість обсмажування, тим більшими будуть втрати сировини. За даної температури вони становлять 11...13%.

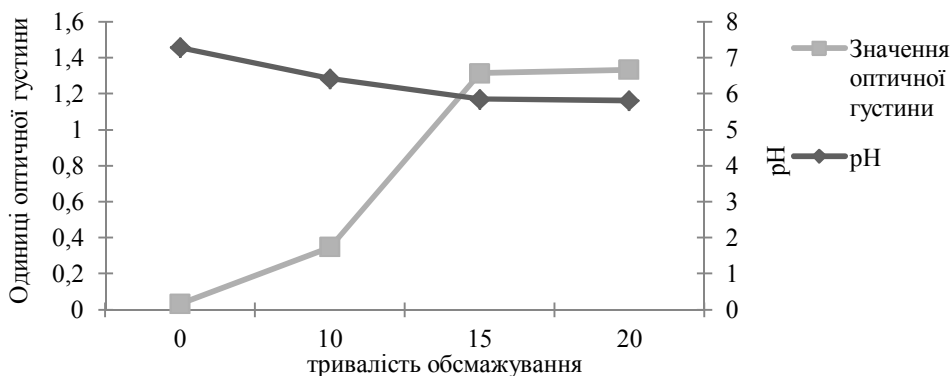
Отже, за результатами оцінки фізико-хімічних показників водних екстрактів випливає, що при температурі 165° С тривалість термічного оброблення бульб топінамбуру знаходиться в межах 20...25 хв.

Залежність вмісту екстрактивних речовин і втрат сировини від тривалості обсмажування бульб топінамбуру при температурі 180° С наведено на рис. 3.



**Рис. 3.** Зміна вмісту екстрактивних речовин і втрат маси сировини від тривалості обсмажування бульб топінамбуру при температурі 180° С

Залежність рН та оптичної густини водних екстрактів із бульб топінамбуру від тривалості обсмажування їх при температурі 180° С наведено на рис. 4.



**Рис. 4.** Зміна оптичної густини і рН водного екстракту від тривалості обсмажування бульб топінамбуру при температурі 180° С

З даних, що наведені на рис. 3 і 4, випливає, що вміст екстрактивних речовин і рН досліджуваних зразків знижується зі збільшенням тривалості обсмажування. Зменшення вмісту екстрактивних речовин можна пояснити розпадом органічних речовин і втратою води. Втрати ж, навпаки, зростають залежно від тривалості обсмажування. За рис. 3 можна прослідкувати, що після 25 хв обсмажування втрати бульб топінамбуру зростають до 17%, а після 35 хв обсмажування — до 30%. Оптична густина зростає прямо пропорційно тривалості обсмажування, що можна побачити на рис. 4. Зростання оптичної густини можна пояснити утворенням меланоїдинів, гумінових речовин, які утворюються при термічному обробленні бульб топінамбура. Тривалість обсмажування при 180° С становить 15...17 хв.

Одним зі способів вибору оптимальних параметрів обсмажування кавових напоїв є органолептичний. Критеріями оцінювання органолептичних властивостей обсмаженого продукту було визначено: смак, аромат, колір, консистенцію водних екстрактів з нього. Це дасть змогу з'ясувати, настільки напій буде схожим на каву.

Зразки обсмажених при температурах 165 °С і 180 °С продуктів мали рівномірно коричневий колір і приємний аромат. Кількість зразків для дегустації складала 5 штук:

- № 1 — топінамбур, обсмажений при температурі 165° С і тривалості 15 хв;
- № 2 — топінамбур, обсмажений за температури 165° С протягом 25 хв;
- № 3 — топінамбур, обсмажений при 165° С протягом 35 хв,
- № 4 — топінамбур, обсмажений за температури 180° С і тривалості 10 хв;
- № 5 — топінамбур, обсмажений при температурі 180° С і тривалості 15 хв.

Перед дегустацією зразки продуктів розмелювали, потім зважували по 6 г розмеленого продукту, наважку заливали 100 см<sup>3</sup> киплячої води, ставили на вогонь і доводили до кипіння. Далі отриманий екстракт розливали в дегустаційні чашки і визначали їхні органолептичні показники: смак, колір, аромат, консистенцію. Кожний із цих показників оцінювався у балах: «відмінно» — 5 балів (дуже бажаний), «добре» — 4 бали (бажаний), «задовільно» — 3 бали (середньо-бажаний), «незадовільно» — 2 бали (малобажаний), 1 бал — дуже погано (небажаний). У дегустації брали участь 15 експертів.

Результати дегустації наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Оцінка органолептичних показників досліджуваних зразків

№ зразка	Органолептичні показники	1 бал — кількість експертів	2 бали — кількість експертів	3 бали — кількість експертів	4 бали — кількість експертів	5 балів — кількість експертів
1	Смак	—	3	7	5	—
	Аромат	—	—	3	6	6
	Колір	—	—	—	6	9
	Консистенція	—	2	7	6	—
2	Смак	—	—	3	8	4
	Аромат	—	—	2	5	8
	Колір	—	—	—	—	15
	Консистенція	—	—	—	9	6
3	Смак	—	—	2	8	5
	Консистенція	—	—	—	9	6
	Аромат	—	—	—	9	6
	Колір	—	—	—	—	15
4	Смак	—	—	—	2	13
	Консистенція	—	—	—	3	12
	Аромат	—	—	—	3	12
	Колір	—	—	—	—	15
5	Смак	—	—	—	—	10
	Консистенція	—	—	—	—	15
	Аромат	—	—	—	—	15
	Колір	—	—	—	—	15

З наведених у табл. 1 результатів можна зробити висновок, що найкращий за своїми органолептичними показниками є зразок № 5, тобто продукт, що був отриманий при температурі 180° С і тривалості обсмажування 15 хв. Він є найближчим за своїми властивостями до кави.

**Висновки.** Отже, для отримання кавових напоїв бульби топінамбуру потрібно обсмажувати при температурі 180 °С протягом 15 хв.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Інуліновмісні продукти на основі топінамбуру / І.О. Гаган, О.С. Галінська, О.С. Бессараб, В.В. Шутюк // Найновітє научни постиження — 2015 : материали за XI международна научна практична конференция, 17—25 март. 2015 р. — Республика Болгария, София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. — Т. 15. — С. 54—57.

2. Бандуренко Галина Стан та перспективи розвитку технологій оздоровчих продуктів на основі топінамбуру / Галина Бандуренко, Олександр Бессараб // Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22—23 травня 2014 р., м. Київ. — К. : НУХТ, 2014. — С. 19—20.

3. Дієтичні продукти з топінамбуру, отримані біохімічним способом / Т.В. Бавровська, О.А. Лесечко, О.С. Бессараб, Г.М. Бандуренко // Наукові здобутки молоді — вирішення проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 78 міжнар. наук. конф. мол. учен., асп. і студ., 2—3 квітня 2012 р. — К. : НУХТ, 2012. — Ч. 2. — С. 139—140.

4. Доценко В.Ф. Влияние новых видов нетрадиционного сырья на гликемический индекс хлеба / В.Ф. Доценко // Деп. в ГНТБ Украины. — 1993. — № 1890. — 14 с.

5. Ковбаса В.М. Розробка нових продуктів екструзійної технології профілактичної дії / В.М. Ковбаса, Н.Г. Миронова, О.М. Ляшенко // Проблеми та перспективи розвитку

виробництва та споживання хлібопродуктів : зб. наук. праць ОДАХТ. — 1997. — Т. 3. — С. 10—12.

6. Продукты профилактического питания на основе топинамбура / Л.Д. Бобровник, И.С. Гулый, Н.В. Ремесло и др. // Химия, медико—биологическая оценка и использование пищевых волокон : республиканская научная конференция, 3—6 октября 1988, Одесса : тезисы докладов. — 1988. — С. 73—74.

7. Костянтинив Т.П. Галка — твой любимый кофейный аромат / Т.П. Костянтинив // Продукты питания. — 2001. — № 4. — С. 35—38.

8. Патент 62043 UA, А 23 F 5/44 (2003.12) Спосіб виробництва сухого розчинного кавового напою / Ковальчук З. О., Дубовий В. Б.; заявник Українсько-англійське спільне підприємство у формі товариства з обмеженою відповідальністю «Галка ЛТД». — № 2001075452; заявл. 31.07.2001; опубл. 15.12.2003. Бюл.12, 2003 р.

9. Гаврилишин В.В. Дослідження можливостей підвищення функціональних властивостей напоїв нерозчинних на основі злакових / В.В. Гаврилишин, Г.В.Панасюк // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості продовольчих товарів» 23 грудня 2014 р. — Львів : 2014. — Видавництво «Растр-7». — С. 108—109.

10. Волошин І.П. Ідентифікація та фальсифікація кавових напоїв у контексті захисту національного ринку / І.П. Волошин, В.А. Жук // Матеріали II всеукраїнської інтернет—конференції студентів і молодих вчених «Експертна діяльність в митній справі: сучасний стан та перспективи». 18 березня 2013 р. Донецьк: [ДонНУЕТ], 2013. — С. 12—14.

11. Нахметов Ф.Г. Технология кофепродуктов / Ф.Г. Нахметов. — М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 184 с.

12. Напої кавові розчинні. Загальні технічні умови: ДСТУ 4849:2007 введ. 01.01.2009. — К. : Держспоживстандарт України, 2008. — С. 1—9.

## ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

Н.П. Ивчук, А.А. Башта, А.О. Ущуповский

*Национальный университет пищевых технологий*

*Статья посвящена проблеме получения нового вкусоароматического продукта на основе обжаренных клубней топинамбура. Известно, что в процессе обжаривания углеводсодержащего сырья образуются продукты, которые имеют вкус и аромат, близкий этим характеристикам в обжаренных зернах кофе. Экспериментально исследовано и научно обосновано, что для получения качественного продукта процесс обжаривания клубней топинамбура для изготовления кофейных напитков необходимо проводить при температуре 180° С в течение 15 мин.*

**Ключевые слова:** *топинамбур, кофейные напитки, обжаривание, физико-химические показатели, органолептические показатели.*



УДК 637.521.3

## RATIONALE FOR SELECTION OF PREMIUM REGULATED VALVES WITH POSITIVE DRIVER

S. Volodin, V. Myronchuk, S. Tokarchyk  
National University of Food Technologies

---

**Key words:**

cleaner,  
nozzles,  
positioner,  
simulation,  
control valves.

**Article history:**

Received 28.09.2017  
Received in revised form  
09.10.2017  
Accepted 4.11.2017

**Corresponding author:**

tmipt\_xp@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Washing departments of sugar mills is an important technological area of sugar beet production, which determines the efficiency of sugar factory. The use of progressive technological schemes, efficient equipment and best practices allows you to significantly improve technical and economic indices of sugar beet production. Given the characteristics of the pump that supplies water to the nozzles of the washing compartment, as a rule, efficiency = 50%, the total specific energy consumption in water supply for blast cleaning and washing beet are 0,135 kW /(t./year). The paper describes a control scheme for the valve, according to the regulation of the course of the working element (plunger), providing a predetermined region of throttle with the definition of amplitude. For rational control of the valve installed position actuator, to convert signals (at a pressure of 0.2—1.0 bar or electric current 4—20mA) to the efforts of the reason.

---

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРОМИСЛОВИХ РЕГУЛЬОВАНИХ КЛАПАНІВ ІЗ ПОЗИЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

С.О. Володін  
В.Г. Мирончук, д-р техн. наук  
С.В. Токарчук, канд. техн. наук  
Національний університет харчових технологій

*Використання прогресивних технологічних схем, ефективного обладнання та передових методів роботи дає змогу значно підвищити техніко-економічні показники цукробурякового виробництва. У статті описано розроблену схему керування клапаном системи управління форсунками, необхідну для регулювання ходу робочого елемента (плунжера) та забезпечення заданої області дроселювання. Для раціонального управління клапаном встановлено позиційний пневмопривод для перетворення сигналів (при тиску 0,2—1,0 бар або електричному струмі 4—20mA) в зусилля приводу.*

**Ключові слова:** мийне відділення, форсунки, позиціонер, моделювання, регулюючі клапани.

**Постановка проблеми.** Цукрове виробництво вимагає якісної підготовки цукрового буряка для подальшої переробки. При забрудненні піском із погано

відмитого буряка на заводі забиваються підігрівачі циркуляційного соку колонних дифузійних апаратів, що вимагає збільшення кількості продувок соку на станції дефекосатурації. Неефективна класифікація відходів мийного відділення, яка здійснюється на базі такого застарілого обладнання, як 2-барабанний класифікатор, призводить до того, що в мийних відділеннях втрачається близько 3,0—6,0% до маси буряка, маси фракцією 10—20 мм, придатної до промислової переробки із забезпеченням отримання товарного цукру [1—3].

На сучасних підприємствах для забезпечення заданих параметрів технологічного процесу використовують обладнання із застосуванням позиційних і слідкуючих систем: регулюючі клапани із керуючими системами на принципах зворотного зв'язку; відсікаючі елементи трубопровідної арматури; аварійні клапани безпеки на трубопровідних мережах.

**Мета дослідження:** удосконалення роботи окремих ділянок технологічного процесу з енергоефективними новими типами приводів.

Мийні відділення цукрових заводів, як показали результати проведених на різних підприємствах реконструкцій мийних відділень, повинні забезпечувати такі показники роботи: очищення буряків від легких і важких домішок — 100%; відмивання буряка до залишкової забрудненості — 0,06—0,12% до маси буряка; повернення у виробництво кондиційної маси в кількості 3,0—6,0% до маси буряка, придатної до промислової переробки із забезпеченням отримання з маси товарного цукру; витрата чистої води на мийку буряка — 25...30% до маси буряка [1; 3].

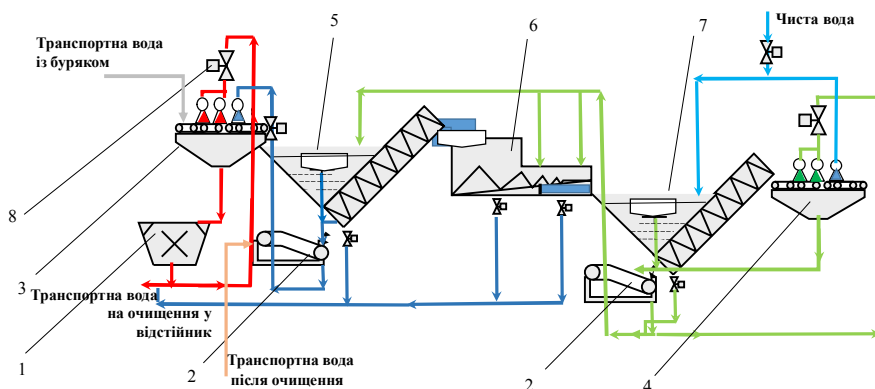
При цьому втрати цукру внаслідок інфікування дифузійної середовища брудом, який надходить у дифузійний апарат з бурякової стружкою із забруднених буряків, складають близько 0,66% до маси буряка. Таким чином, забезпечення високих показників роботи мийних відділень є актуальним завданням для цукрових заводів і запорукою енергозаощадження.

Для вирішення питання підвищення ефективності роботи мийного відділення цукрового заводу необхідно розв'язати такі завдання:

1. Дослідити одну зі стандартних технологічних схем мийного відділення цукрового заводу.
2. Розглянути варіанти удосконалення конструкції обладнання, пов'язаного із елементною базою керованої трубопровідної арматури.
3. Дослідити вплив різних конструкцій форсунок над водороздільником для струминного очищення і відмивання буряків.
4. Дослідити шляхи модернізації керуючої системи регулюючого клапана серії VL10 (КАМОЦЦ), пов'язаного із форсунками.
5. Визначити можливі шляхи удосконалення конструкції обладнання та найбільш доцільні режими його роботи на основі запропонованих схем керування.

**Матеріали і методи.** Об'єктами дослідження є процес розпилення транспортерної води водороздільника (рис. 1), конструкція приводу та схема керування форсунками.

Розглянемо одну із стандартних технологічних схем мийного відділення цукрового заводу. Врахуємо високу ефективність запропонованої схеми [4] по очищенню буряка від важких і легких домішок, а також високу ефективність по відмиванню буряка від бруду при використанні малої кількості чистої води.



**Рис. 1.** Загальна технологічна схема мийного відділення цукрового заводу:

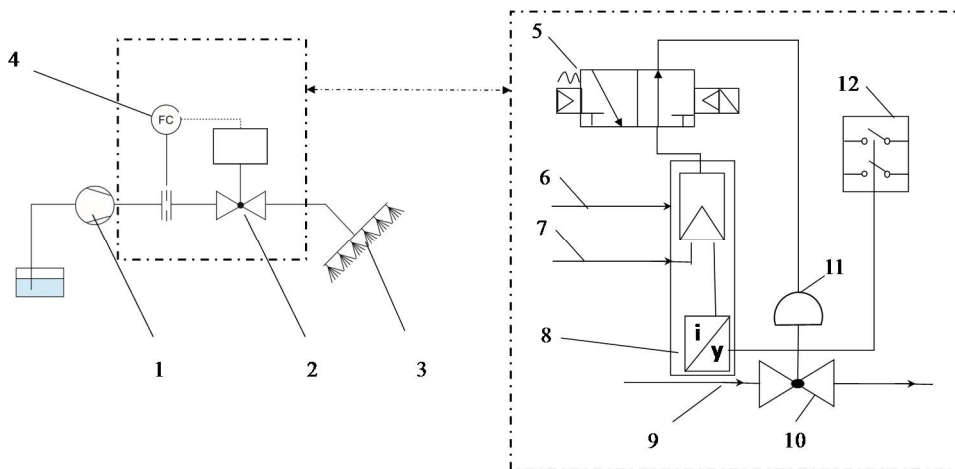
- 1 — вібросито; 2 — ситчастий сепаратор; 3 — водовідділювач №1;  
4 — водовідділювач №2; 5 — ополіскувач №1; 6 — бурякомийка; 7 — ополіскувач №2;  
8 — регулюючий клапан з позиційним приводом

Робота мийного відділення, водна схема якого представлена на рис.1, потребує використання 25—40% до маси буряка чистої води. Чиста вода — це охолоджені до 12—35° С аміачні конденсати, охолоджена вода із реверсного потоку води 1-ї категорії, а також технічна вода заводського водосховища. Як видно з рис.1, чиста вода в мийному відділенні використовується: на водороздільниках № 2 для струминного відмивання буряка, на 2-му каскаді водовідділення і в ополіскувачі № 2. Потім чиста вода, введена використана в ополіскувачі № 2, відбирається з циркуляційного контуру цього ополіскувача № 2 і надходить в бурякомийку коритну або барабану. Чиста вода в бурякомийці не використовується. У бурякомийці використовується тільки вода відпрацьована в ополіскувачі № 2. Вода з циркуляційного контуру цього ополіскувача № 2 надходить також в обполіскувачі № 1. Таким чином організовується протипотоківий рух води щодо руху буряка в мийному відділенні.

**Результати досліджень.** Форсунки, розташовані над водороздільником №1 для струминного очищення і відмивання буряків, здатні працювати на транспортерній воді, яка очищена на віброситі, на транспортерній воді після радіальних відстійників, на воді з циркуляційного контуру ополіскувача № 1. Конструкція форсунки забезпечує також легке регулювання ширини щілини для проходу води через форсунку; забезпечення легкого очищення форсунки при забиванні її домішками, які містяться у воді. Форсунки повинні забезпечувати використання води з включенням твердої фракції з розмірами близько 5 мм; сумарну витрату води на струминне відмивання буряків на водовідділювачі № 1 в кількості близько 80—150% до масі буряків з тиском води на рівні 2,5 кг/см<sup>2</sup>. Тиск води, яка подається на форсунки, визначає швидкість води форсунки (за умови тиску води  $P = 2,5 \text{ кг/см}^2$  — швидкість становить  $V = 22,5 \text{ м/сек.}$ ). У ході проведеного аналізу роботи ділянки з форсунками над водороздільником № 1 нами запропонована модернізація керуючої системи регулюючого клапана серії VL10 (КАМОЦЦ), пов'язаного із форсунками (рис. 2) [5].

Хід клапана (точніше, положення плунжера) — суттєвий проміжний параметр послідовності сигналів. Конструкція плунжера клапана, відповідно до регулювання ходу, забезпечує більшу або меншу область дроселювання, від початку

кового значення до його максимальної величини. Відношення максимального значення до початкового визначає амплітуду (діапазон змін). Характер змін між цими значеннями описується характеристикою клапана.



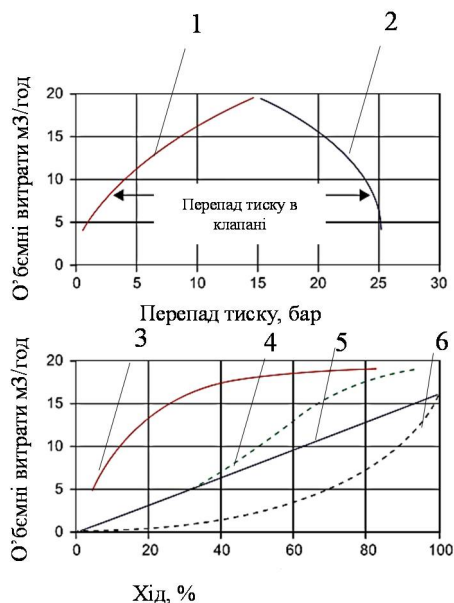
**Рис. 2.** Загальна схема управління форсунками над водороздільником № 1:

1 — насос; 2 — регулюючий клапан з позиційним приводом; 3 — форсунки; 4 — регулятор потоку; 5 — керуючий клапан; 6 — стиснене повітря; 7 — задане значення позиціонування робочого елемента; 8 — опозиціонер; 9 — транспортуєча вода; 10 — регулюючий клапан; 11 — пневмопривод поворотний; 12 — пристрій керування кінцевими точками зупинки робочого елемента

Першочерговим і складним завданням у розробці проекту регулюючого клапана є визначення його робочих параметрів. Точність розрахунків особливо важлива, тому що саме на цій стадії визначаються параметри трубопроводу, клапана і його деталей. У той же час потрібно взяти до уваги компоненти, встановлені до і після регулюючого клапана, що розділяють виробничий процес на окремі ділянки. Регулюючий клапан завжди є компонентом, що керує потоком. При проектуванні регулюючого клапана, крім нормальних робочих умов, не можна не враховувати особливості його роботи в спеціальних і екстремальних умовах. Серед них — поведінка клапана в разі керованого відключення (функція перекривання, обмеження), а також у разі аварійної ситуації. Істотним параметром є герметичність клапана в закритому положенні. Тут внесено поправку до згаданих вимог. З точки зору розробки конструкції, функції управління і герметизації суперечать один одному. Але це завдання вирішене введенням додаткових ресурсів.

Характеристика роботи форсунок і насоса, отримана експериментальним шляхом, дає можливість враховувати залежність між коефіцієнтом пропускної здатності і положенням плунжера на клапані. На практиці зазвичай вибирають між лінійною і рівновідсотковою характеристиками (рис. 3). Граничні умови — зовнішній тиск за форсунками і рівень рідини в резервуарі, який має бути постійним. Якщо для прохідного клапана немає заданої технічної характеристики, з економічних причин раціонально вибрати лінійну характеристику.

Позиціонери клапана використано для перетворення сигналів (звичайних у технологіях управління, при тиску 0,2—1,0 бар або електричному струмі 4—20 мА) в зусилля приводу (зазвичай пневматичного).



**Рис. 3. Характеристики роботи форсунок і насоса:**

1 — перепад тиску в соплі; 2 — перепад тиску на насосі; 3 — характеристика витрат позиційно керованого клапана керованого за лінійною характеристикою; 4 — характеристика витрат позиційно керованого клапана керованого за рівновідсотковою характеристикою; 5 — лінійна характеристика клапана; 6 — рівновідсоткова характеристика клапана

Позиціонер разом з приводом утворює керуючий контур, підпорядкований контуру управління всім технологічним процесом. Він керується мікропроцесором, забезпечуючи можливість налаштування багатьох параметрів, як на місці, так і через комунікаційні системи. Управління виробництвом здійснено через двосторонній обмін даними, який відрізняється від звичайних сигналів управління і зворотного зв'язку. Було застосовано дистанційний магістральний адресний перетворювач (скорочено HART® — the Highway Addressable Remote Transducer), в якому цифрова інформація про стан перетворюється в аналоговий сигнал, що управляє технологічним процесом.

**Висновки.** При рівновідсотковій характеристиці (рис. 3) існує рекомендація вибирати регулюючий клапан із більшою величиною  $Kvs$  (номінальної пропускною спроможністю). У більшості випадків перфорований плунжер при рівнопропорційній характеристиці вимагає великих діаметрів сідла або більшого ходу, а отже, великих зусиль приводу. Для раціонального управління клапаном доцільно встановити позиційний пневмопривод для перетворення сигналів (при тиску 0,2—1,0 бар або електричному струмі 4—20 мА) в зусилля приводу. Позиційний пневмопривод разом із регулюючим клапаном утворює керуючий контур, який керує всім технологічним процесом.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Белі В. Стан та проблеми цукрової промисловості / В. Белік // Техніка АПК. — 2003. — № 9. — С. 34—36.
2. Домарецький В.А. Технологія харчових продуктів / В.А. Домарецький, М.В. Остапчук, А.І. Українець. — К. : НУХТ, 2003. — 569 с.

3. *Осадчий Л.Г.* Усовершенствование работы моечных отделений сахарных заводов / Л.Г. Осадчий // *Вестник пищевой промышленности «Сахарная отрасль»*. — 2016. — № 4 — С. 16—21.

4. *Танащук Л.І.* Вторинне перероблення сировини — раціональне використання природних ресурсів / Л.І. Танащук, Л.Ф. Степанець // *Матеріали міжнародної науковотехнічної конференції «Створення нових матеріало- та енергоощадних технологій і ефективного обладнання для цукрової промисловості»*: тези доп. — К. : НУХТ, 2000. — 250 с.

5. *Кривопляс-Володіна Л.О.* Оцінка витратних характеристик пневмосопла для технологічного процесу / Л.О. Кривопляс-Володіна, Г.Р. Валіулін, В.М. Любімов // *Харчова промисловість*. — 2015. — № 18. — С. 137—141.

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГУЛИРУЕМЫХ КЛАПАНОВ С ПОЗИЦИОННЫМ ПРИВОДОМ**

**С.А. Володин, В. Г. Мирончук, С.В. Токарчук**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Моечные отделения сахарных заводов — важный технологический участок свеклосахарного производства, который определяет эффективность работы сахарного завода. В статье описана разработанная схема управления клапаном системы форсунок, необходимая для регулирования хода рабочего элемента (плунжера) и обеспечения заданной области дросселирования. Для рационального управления клапаном установлено позиционный пневмопривод для преобразования сигналов (при давлении 0,2—1,0 бар или электрическом токе 4—20мА) в усилие привода.*

**Ключевые слова:** моечное отделение, форсунки, позиционер, моделирование, регулирующие клапаны.

УДК 621.01

## FACTORS OF FRICTION IN EQUIPMENT OF PACKAGING LINE

**D. Prygodiy, A. Sokolenko, K. Vasilkovsky, A. Demianenko***National University of Food Technology***Key words:**

friction,  
packing film,  
coefficient of friction,  
law,  
computing experiment,  
kinematic pair.

**Article history:**

Received 06.09.2017

Received in revised

form 20.09.2017

Accepted 20.10.2017

**Corresponding author:**

vasilkivski@voliacable.com

**ABSTRACT**

The article is devoted to analysis of interrelations between geometric and kinematic parameters and friction transport systems packaging of food products. It is shown that the interests of providing stable flows of film packaging materials with a given level synchronization operations result in the need to expand the range of influences on the friction forces. The methods of calculation of geometrical parameters to increase friction forces in kinematic pairs. It is shown that regularity of Euler, which reflects the ratio at the point of retreating approach and flexible connections of the leading elements have a specific reflection in the first Amontons-Coulon. Computational experiment has led to the evaluation of the influence of geometrical parameters on tractive ability of a system displacement of film materials.

## ФАКТОРИ ТЕРТЯ В ОБЛАДНАННІ ЛІНІЙ ПАКУВАННЯ

**Д.В. Пригодій****А.І. Соколенко, докт. техн. наук****К.В. Васильківський, канд. техн. наук****А.В. Дем'яненко***Національний університет харчових технологій*

*У статті проаналізовано взаємозв'язки між геометричними і кінематичними параметрами та силами тертя в транспортних системах ліній пакування харчової продукції. Запропоновано методики розрахунку геометричних параметрів з метою збільшення сил тертя в кінематичних парах. Показано, що закономірності Ейлера, які відображують співвідношення натягів у точках набігання і збігання гнучких зв'язків і ведучих елементів мають специфічне відображення в першому законі Амонтона-Кулона. Обчислювальний експеримент привів до оцінки можливостей впливу геометричних параметрів на тягову спроможність систем переміщення плівкових матеріалів.*

**Ключові слова:** *тертя, пакувальна плівка, коефіцієнт тертя, закон, обчислювальний експеримент, кінематична пара.*

**Постановка проблеми.** Світ, що нас оточує, є таким багато в чому завдяки явищу тертя. Технічні споруди, з'єднання у формі нерухомих і рухомих конструкцій, транспорт і сама можливість здійснювати переміщення — все це пов'язано та існує завдяки силам тертя, які мають подвійний прояв.

Робота механізмів і машин супроводжується взаємними переміщеннями окремих деталей в їх кінематичних парах і розсіюванням механічної енергії. З

іншого боку, ті ж сили тертя забезпечують можливість передавання руху у фрикційних і пасових передачах, транспортування вантажів у конвеєрних системах, режими вибігу в машинах і механізмах, переміщення плівкових матеріалів у пакувальних автоматах тощо.

Фізичні основи тертя розрізняють два види цього явища. Це тертя зовнішнє і тертя внутрішнє. Зовнішнє тертя своїм проявом має опір переміщенню одного тіла по поверхні іншого. Наслідком такого прояву є дисипативне розсіювання енергії, що починається від зони дотикання. Внутрішнє тертя — це процес, що відбувається у твердих тілах, рідинних, газорідинних і газових середовищах при їх деформаціях та взаємодіях і супроводжується незворотним розсіюванням енергії.

Залежно від стану поверхонь розрізняють тертя сухе, напівсухе, напіврідинне і рідинне, а за кінематичними ознаками його поділяють на тертя ковзання, тертя кочення, тертя вертіння, тертя кочення з ковзанням і тертя при вібропереміщеннях.

Значна кількість факторів впливу на тертя і сама їх нестабільність приводить до того, що сформульовані і використовувані закони тертя є наближеними. Таким наближенням, у тому числі, є єдиний кількісний закон, який відображує залежність між силою тертя і величиною нормального тиску. Так з'являється можливість обмежувати сили тертя зменшенням силової дії між тілами у формі нормального тиску і, навпаки, обмежувати останні за необхідності обмеження сил тертя. Часто в результаті виконання навіть однієї технологічної задачі виникає потреба обмеження сил тертя на окремих ділянках системи і, одночасно, їх збільшення (рис. 1) [1—3].

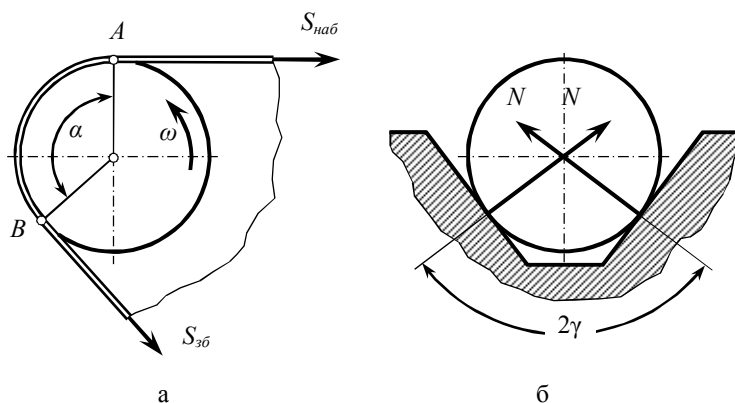


Рис. 1. Ілюстрація випадків збільшення сил тертя:

а — пара «барaban–плівка»; б — тертя в клинчастому повзуні

**Метою дослідження** є оцінка можливостей впливу на силові фактори в системах переміщення плівкових пакувальних матеріалів.

**Об'єкт дослідження** — статичні характеристики механічних систем з гнучкими зв'язками.

**Предмет дослідження** — взаємозв'язки між геометричними і силовими параметрами в системах переміщення гнучких пакувальних матеріалів.

**Методи і методики.** В дослідженнях використовувалися класичні положення теорії тертя з поправками на особливості побудови кінематичних пар в умовах графоаналітичних методів синтезу. Для порівняльної оцінки сукупності



параметрів впливу використано теорію кількофакторних обчислювальних експериментів з одержанням рівнянь регресії.

Наприклад, у системах формування упаковок продукції на основі гнучких плівкових матеріалів, в яких наявний рулон як накопичувач матеріалу, зона формування потоку і механізм протягування має місце такий подвійний характер вимог. Так, опір змотування гнучкого елемента (плівки) з рулону і опір переміщенню в зоні формування необхідно мати обмеженими, тоді як рівень зчеплення (сил тертя) гнучкого елемента з ведучим органом повинен задовольняти перебіг процесу без проковзування. При цьому набір технічних прийомів в обох випадках є достатньо обмеженим і стосується вибору матеріалу елементів пари тертя, чистоти обробки їх поверхонь, забезпечення тертя ковзання, кочення, сухого або рідинного. Цей короткий перелік стосується обох напрямків впливів на сили тертя, проте щодо них мають місце і суто технічні прийоми. Обмежити силу тертя в певному напрямку переміщення вантажу можливо за рахунок рухомої горизонтальної або похилої опорної площини, протидії осьовому переміщенню пальця у втулці за рахунок обертального переміщення одного з елементів цієї кінематичної пари тощо.

Збільшити силу тертя між полотном гнучкого елемента і ведучим барабаном можливо за рахунок збільшення кута охоплення відповідно до відомої закономірності Ейлера:

$$s_{\text{наб}} = s_{36} e^{\alpha f}, \tag{1}$$

де  $s_{\text{наб}}$  і  $s_{36}$  — відповідно, натяги гнучкого елемента (плівки) в точках набігання і збігання;  $\alpha$  — кут охоплення гнучким елементом барабана;  $f$  — коефіцієнт тертя в парі матеріалів (рис. 1а). Зміна кута охоплення ведучого барабана гнучким елементом досягається за рахунок геометричної орієнтації набігаючої і збігаючої гілок. Задача геометричного синтезу системи зі збільшенням кута охоплення гнучким елементом ведучого шківів вирішується на основі геометричних зв'язків. Звернемося до прикладу, схема якого наведена на рис. 2. Завданням геометричного синтезу є збільшення кута охоплення від початкового значення  $\varphi_{(n)}$  до кінцевого —  $\varphi_{(к)} = \varphi_{(n)} + \varphi$  зі збереженням заданого спрямування збігаючої гілки.

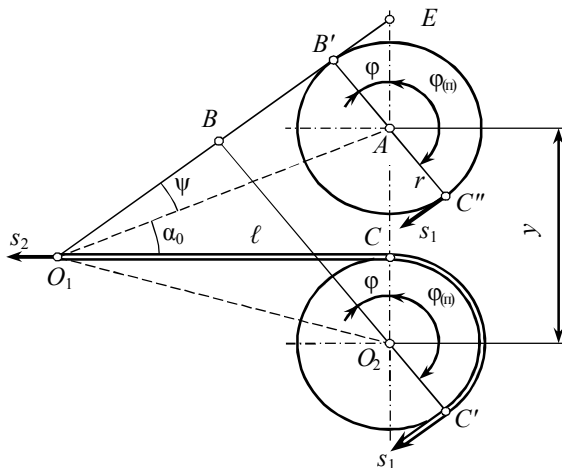


Рис. 2. Схема визначення геометричних зв'язків за реалізації збільшення кута охоплення

Нехай початковому варіанту відповідає положення точки  $O_1$ , з якої сходять набігаюча гілка і точка  $O_2$  як центр обертання барабана.

У такому варіанті точка  $C$  є точкою набігання, а точка  $C'$  — точкою збігання. Їм відповідає кут охоплення  $\angle CO_2C' = \phi_{(n)}$ . Збільшення кута охоплення барабана на величину  $\phi$  здійснюємо за рахунок зміни координати точки  $O_2$  на величину  $y$  за збереження координати точки  $O_1$ . До схеми введено позначки:

$\ell = O_1C$ ;  $r$  — радіус барабана;  $y = O_2A$ ;  $\phi, \alpha_0$  і  $\psi$  — кути.

При цьому мають місце такі геометричні зв'язки:

$$O_2A = y; AC = y - r; O_1A = \sqrt{\ell^2 + (AC)^2}; \sin \alpha_0 = (AC)/(O_1A); \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{y-r}{\sqrt{\ell^2 + (AC)^2}}; (B'A)/(O_1A) = \sin \psi; \quad (3)$$

$$\psi = \arcsin (B'A)/(O_1A) = \arcsin \frac{r}{\sqrt{\ell^2 + (AC)^2}}; \quad (4)$$

$$O_1E = \frac{\ell}{\cos(\alpha_0 + \psi)}; AE = O_2E - y; O_2E = CE + r; \quad (5)$$

$$CE = \ell \operatorname{tg}(\alpha_0 + \phi). \quad (6)$$

З трикутника  $AB'E$  випливає, що

$$\cos \phi = r/(AE), \quad (7)$$

але

$$AE = \ell \operatorname{tg}(\alpha_0 + \psi) - y. \quad (8)$$

Тоді розшукуваний кут  $\phi$  становить:

$$\phi = \arccos \frac{r}{\ell \operatorname{tg}(\alpha_0 + \psi) - y}, \quad (9)$$

а кінцеве значення кута охоплення:

$$\phi_{(к)} = \phi_{(n)} + \phi = \phi_{(n)} + \arccos \frac{r}{\ell \operatorname{tg}(\alpha_0 + \psi) - y}. \quad (10)$$

Підстановкою значень параметрів  $\alpha_0$  та  $\psi$  одержуємо:

$$\phi_{(к)} = \phi_{(n)} + \arccos \frac{r}{\ell \operatorname{tg} \left( \arcsin \frac{y-r}{\sqrt{\ell^2 + (y-r)^2}} + \arcsin \frac{r}{\sqrt{\ell^2 + (y-r)^2}} \right) - y}. \quad (11)$$

Зміщення барабана на величину  $y$  супроводжується збільшенням ділянки на барабані, що охоплена гнучким елементом. Величина збільшення становить:

$$\Delta s_{\bar{6}} = r\phi, \quad (12)$$

а загальна дуга охоплення визначається залежністю:

$$s_{\bar{6}} = r(\phi_{(n)} + \phi). \quad (13)$$

Довжина ділянки гнучкого елемента визначається за формулою:

$$OB' = (O_1A) \cos \psi = \sqrt{\ell^2 + (y-r)^2} \cos \arcsin \frac{r}{\sqrt{\ell^2 + (y-r)^2}}. \quad (14)$$

Очевидно, що в окремих випадках пошук геометричних зв'язків для забезпечення визначених кутів охоплення може бути суттєво спрощеним, якщо вирішується початковий синтез технологічного обладнання. Разом з тим нестабільність значень коефіцієнтів тертя і зовнішніх умов експлуатації систем машинного пакування продукції, як і варіації фізико-механічних параметрів пакувальних матеріалів, призводять до необхідності пошуку нестандартних підходів для забезпечення заданих кінематичних параметрів їх переміщень. Ситуація, пов'язана з трактом подавання плівкового полотна з обмеженими параметрами міцності, ускладнюється значними початковими масами рулонів, наявністю відхиляючих рухомих і нерухомих роликів, особливостями механізмів протягування плівок тощо.

Для оцінки впливів геометричних параметрів системи на величину кута охоплення гнучким елементом ведучого елемента також виконано трифакторний обчислювальний експеримент [5].

Розрахунки виконувалися на основі рівняння (11), а факторами впливу було обрано параметри  $\ell$ ,  $r$  та  $y$ .

Рівні варіювання цих факторів наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Фактори і рівні варіювання

Фактори	$\ell$ , мм	$r$ , мм	$y$ , мм
Кодові позначення	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основний рівень	700	500	1 500
Інтервал варіювання	200	200	200
Нижній рівень	500	300	1 300
Верхній рівень	900	700	1 600

Матриця планування трифакторного обчислювального експерименту і результати розрахунків з визначення кута охоплення представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Матриця планування експериментів і значення функції відгуку

№ п/п	Фактори				Кут охоплення, рад
	$x_0$	$x_1(\ell)$	$x_2(r)$	$x_3(y)$	
1	2	3	4	5	6
1	+	-	-	-	2,8189
2	+	+	-	-	2,4807

Продовження табл. 2.

1	2	3	4	5	6
3	+	–	+	–	2,9708
4	+	+	+	–	2,7126
5	+	–	–	+	2,9233
6	+	+	–	+	2,6793
7	+	–	+	+	3,0516
8	+	+	+	+	2,8448

Результати розрахунків привели до таких значень коефіцієнтів регресії:

$$b_0(x_0) = 3,344; b_1(x_1) = -0,3375; b_2(x_2) = 0,2799;$$

$$b_3(x_3) = 0,075; b_4(x_1x_2) = 0,0548; b_5(x_1x_3) = 0,0843;$$

$$b_6(x_2x_3) = -0,066; b_7(x_1x_2x_3) = -0,0261.$$

Перевірка коефіцієнтів регресії на значущість привела до висновку про позитивний результат щодо коефіцієнтів  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_5$ . Відповідно до цього переліку рівняння регресії приводиться до виду:

$$y = 3,344 - 0,33754x_1 + 0,2799x_2 + 0,075x_3 + 0,084x_1x_2,$$

а у формі залежності фізичних величин воно має такий вид:

$$\phi = 3,4467 - 0,0021\ell + 0,0014r + 0,000252y + 0,00000018y\ell.$$

Таким чином, за обмежених можливостей змін параметра  $\ell$  необхідний результат зі збільшення кута охоплення є досяжним за рахунок зростання значень  $r$  та  $y$ .

Пошуки можливих конструктивних впливів у напрямку досягнення регульовальних впливів на значення коефіцієнтів тертя призвели до певного рівня успіхів і такі пошуки продовжуються в напрямках як обмеження, так і нарощування сил тертя. В розробках щодо особливих умов систем формування, переформування і розформування масивів виробів сили тертя, як протидіючі, вдалося трансформувати у рушійні фактори за рахунок кінематичних втручань. Нарощування кількості площин або поверхонь тертя також є можливим напрямком підвищення як рушійних факторів, так і факторів опору. Особливості процесу тертя в клинчастих повзунах і системах дали змогу створити перспективи використання гравітаційних опускних пристроїв з регульованою кінематикою [1]. В останньому дослідженні також запропоновано використовувати гравітаційні системи на основі поворотних двограневих лотків, грані яких мають поверхні з різними коефіцієнтами тертя. У загальній оцінці досягнень у напрямках впливів на тертя в кінематичних парах доводиться прийти до висновку про суттєве відставання в напрямку обмежень сил тертя. Отже, в технологіях виробництва пакувальних матеріалів і обладнання для їх створення та виготовлення упаковок слід враховувати такі фізико-механічні характеристики, як питома маса, міцність при розриві, відносне подовження, міцність зварних швів, модуль пружності, жорсткість, допустимі навантаження і, нарешті, статичні і динамічні коефіцієнти тертя [4].

Кількашарова структура матеріалів з їх різними властивостями призводить до необхідності враховувати значення коефіцієнтів тертя в різних комбінаціях

кінематичних пар. Розповсюдженою у використанні є структура матеріалу, яка відображується формулою PET 12 + AL 7 + PE 30, що означає наявність у зовнішньому шарі матеріалу PET, а у внутрішньому — PE. Очевидно, що сама технологія виготовлення пакувальних матеріалів і зовнішні неконтрольовані впливи середовища не дають змоги забезпечити повний збіг як механічних характеристик, так і коефіцієнтів тертя. На підтвердження цього положення наведемо витяг з матеріалів виробника пакувальних матеріалів (табл. 3).

Таблиця 3. Фізико-механічні показники пакувальних матеріалів

Структура матеріалу	Маса, г/м <sup>2</sup>	Товщина, мкм	Міцність при розриві, МПа		Відносне подовження при розриві, %		Міцність шва холодного зварювання, Н/15 мм		Стійкість до проколу, МПа	
			поз-довжня	поперечна	поз-довжня	поперечна	поз-довжня	поперечна	з внутрішнього боку	з зовнішнього боку
PET 12 + AL 7 + PE 30	70,09	57	61,14	65,82	107,96	67,36	34,85	36,74	7,5	7,7
PET 12 + AL 7 + PE 30	70,85	57	62,50	68,85	118,32	68,66	37,33	37,47	7,3	7,6
PET 12 + AL 7 + PE 30	69,8	56	62,72	65,87	93,05	77,77	25,46	35,04	7,4	7,7
Структура матеріалу	Коефіцієнт тертя статичний					Коефіцієнт тертя динамічний				
	зов./зов.	зов./внут.	зов./мет.	внут./внут.	внут./мет.	зов./зов.	зов./внут.	зов./мет.	внут./внут.	внут./мет.
PET 12 + AL 7 + PE 30	0,34	0,43	0,20	0,39	0,23	0,32	0,36	0,17	0,35	0,18
PET 12 + AL 7 + PE 30	0,33	0,41	0,19	0,37	0,20	0,33	0,37	0,18	0,34	0,16
PET 12 + AL 7 + PE 30	0,30	0,36	0,20	0,29	0,22	0,28	0,34	0,21	0,27	0,18

Аналізуючи дані статичного коефіцієнта тертя, можна прийти до висновку про наявність впливів виду тертя у порівнянні «внутрішнє/зовнішнє», «зовнішнє/зовнішнє», «внутрішнє/внутрішнє», «зовнішнє/метал» і «внутрішнє/метал», проте вони не досягають рівнів статистично досяжних. Стосовно названих пар тертя подібна оцінка стосується і динамічних коефіцієнтів тертя. Відсутність чіткого розмежування стосується також порівняння статичних і динамічних коефіцієнтів тертя, хоча в окремих групах характеристик залежності мають місце.

Разом з тим наявний чіткий поділ за значеннями коефіцієнтів тертя у порівнянні тертя між матеріалами і у випадках тертя в парах «матеріал/метал». Зниження сил тертя і коефіцієнтів тертя в такому порівнянні складає від 20 до 30% і більше. Останнє стосується статичних і динамічних коефіцієнтів тертя. Одночасно в парах «матеріал/метал» у комбінаціях зовнішніх і внутрішніх матеріалів існує помітна різниця значень коефіцієнтів тертя. Такий різнобій може складати певні перепони у випадках створення двоприводних систем з задіяними зовнішніми і внутрішніми поверхнями гнучких елементів. Задля їх ліквідації і для досягнення повної силової і кінематичної синхронізації пропонується використання в системі їх приводів диференціальних механізмів.

**Результати досліджень.** Процеси виготовлення плівкових матеріалів можуть супроводжуватися силовими діями різної спрямованості. У зв'язку з цим можливо очікувати прояви неізотропності як відносно орієнтації структур аж на рівні молекулярної побудови, так і у відгуках на значення коефіцієнтів тертя в різних напрямках. Для оцінки цих відхилень виконано експериментальне визначення сил тертя з подальшим перерахунком коефіцієнтів тертя за умов переміщення експериментальних зв'язків у поздовжньому і поперечному напрямках. Результати цієї частини досліджень наведені в табл. 4 для систем «ПЕТ/метал» і «ПЕ/метал».

**Таблиця 4. Результати визначень коефіцієнтів тертя за переміщень зразків у поздовжньому і поперечному напрямках**

Показник	Результати випробувань			
	у поздовжньому напрямку		у поперечному напрямку	
	ПЕТ/метал	ПЕ/метал	ПЕТ/метал	ПЕ/метал
Статичний коефіцієнт тертя				
зразок № 1	0,21	0,23	0,26	0,23
зразок № 2	0,21	0,20	0,28	0,24
зразок № 3	0,23	0,27	0,30	0,24
зразок № 4	0,26	0,25	0,32	0,26
зразок № 5	0,26	0,21	0,30	0,26
Динамічний коефіцієнт тертя				
зразок № 1	0,19	0,17	0,25	0,21
зразок № 2	0,18	0,17	0,26	0,23
зразок № 3	0,22	0,20	0,25	0,23
зразок № 4	0,24	0,21	0,28	0,23
зразок № 5	0,23	0,20	0,24	0,21

Стосовно всіх порівнюваних випадків зафіксовано збільшення коефіцієнтів тертя за переміщень в поперечному спрямуванні порівняно з випадками поздовжніх переміщень. Аналогічний висновок стосується випадків визначення статичних коефіцієнтів тертя.

**Висновки.** Виконаний аналіз взаємозв'язків між ведучими і веденими складовими з гнучкими елементами на рівні геометричних, кінематичних і силових параметрів дає змогу зазначити:

1. Інтереси безвідмовного і стабільного забезпечення систем транспортування плівкових матеріалів із заданим рівнем синхронізації з технологічними операціями призводять до необхідності розширення діапазону впливів на сили тертя як у напрямку їх збільшення, так і зменшення. Останнє визначається тим, що сили тертя відіграють ролі рушійних сил і сил опору.

2. Можливості технічних впливів стосуються підбору матеріалів пари тертя, їх фрикційних властивостей, режимів тертя, стану поверхонь контактування, рівня силових взаємодій. Названі параметри і характеристики стосуються узагальнень у формі коефіцієнтів тертя і нормальних реакцій у площинах контактування.

3. Напрямок можливостей збільшення тертя в кінематичних парах стосується геометричних зв'язків у формі кутів охоплення гнучкими елементами ведучих або ведених шківів, барабанів, роликів тощо або до технічного переходу до тертя в жолобах. В останньому випадку досягаються можливості регульованих впливів за рахунок приведених коефіцієнтів тертя.

4. Закономірність Ейлера, що відображує співвідношення натягів в точках набігання та збігання гнучкого елемента, є специфічним відображенням першого закону тертя Амонтона-Кулона.

5. Порівняння впливів різних факторів ( $\alpha$ ,  $s_1$  і  $f_{пр}$ ) на показник  $s_2$  і силу тертя доцільно здійснювати на рівні виконаних обчислювальних експериментів і одержаних рівнянь регресії. Трифакторний дворівневий експеримент підтвердив останнє припущення.

6. За відсутності змін параметра  $\ell$  необхідний результат зі збільшення тягової спроможності за рахунок кута охоплення досягається збільшенням геометричних параметрів  $r$  та  $y$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Теорія тертя у взаємодії твердих тіл / А.І. Соколенко, С.В. Іванов, В.А. Піддубний та ін. — К. : Фенікс, 2012. — 256 с.

2. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин / О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.В. Токарчук та ін. — К. : НУХТ, 2015. — 547 с.

3. *Галкин А.А.* Упаковывание пищевых продуктов в гибкие материалы / А.А. Галкин, В.П. Шредер, А.Н. Гавва, В.Н. Кривошей // Упаковка. — 2014. — № 1. — С. 39—42.

4. Фізико-хімічні властивості пакувальних матеріалів / В.С. Костюк, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський та ін. — К. : Кондор, 2013. — 402 с.

5. Моделювання процесів пакування / А.І. Соколенко, В.Л. Яровий, В.А. Піддубний та ін. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 272 с.

## ФАКТОРЫ ТРЕНИЯ В ОБОРУДОВАНИИ ЛИНИЙ УПАКОВКИ

**Д.В. Пригодий, А.И. Соколенко, К.В. Васильковский, А.В. Демьяненко**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*Статья посвящена анализу взаимосвязей между геометрическими и кинематическими параметрами и силами трения в транспортных системах линий упаковки пищевой продукции. Предложены методики расчета геометрических параметров с целью увеличения сил трения в кинематических парах. Показано, что закономерности Эйлера, отражающие соотношение в точках набегания и сбегания гибких связей из ведущих элементов, имеют специфическое отражение в первом законе Амонтона-Кулона.*

**Ключевые слова:** *трение, упаковочная пленка, коэффициент трения, закон, вычислительный эксперимент, кинематическая пара.*

УДК 621.87

## DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF PRODUCTIVITY OF PACKET LINE

**M. Iakymchuk, O. Gorchakova, S. Tokarchuk, G. Valiulin***National University of Food Technologies***Key words:**

transport package,  
intensity of the flow,  
robotic complex,  
package formation.

**Article history:**

Received 20.09.2017

Received in revised form  
19.10.2017

Accepted 15.11.2017

**Corresponding author:****ABSTRACT**

Mathematical model for determination of the maximal productivity of robotic packet forming lines is being considered in this paper. Determined Influence of the process of separation of movement of different sized packed products on the working stations of the transporting system while forming transport packs and influence of their intensity for achieving maximal productivity of the robotic complex. The process of forming of the transport packaging is presented as a complex of the input of material and informational flows, each of them has its own intensity of developing of packed cargo, technological scheme of laying of cargo unit on the pallet while using information from the exiting flow in case of maximal productivity of robotic complex. Achieved results can be used in future design of new flexible robotic manufacturing in the branch of packaging industry with modular approach to equipment selection.

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИЗОВАНИХ ПАКЕТОФОРМУЮЧИХ ЛІНІЙ

**М.В. Якимчук, д-р техн. наук****О.М. Горчакова****С.В. Токарчук, канд. техн. наук****Г.Р. Валіулін, канд. техн. наук***Національний університет харчових технологій*

*У статті розглядається математична модель для визначення максимальної продуктивності роботизованих пакетоформуєчих пакувальних ліній. Визначено вплив процесу розподілення потоків пакованих виробів різного типорозміру по робочим станціям транспортуючих систем під час формування транспортних пакетів і вплив їхньої інтенсивності для досягнення максимальної продуктивності роботизованого комплексу. Отримані результати можливо в подальшому використовувати при проектуванні нових гнучких роботизованих виробництв у пакувальній галузі при модульному підході до підбору їх обладнання.*

**Ключові слова:** транспортний пакет, інтенсивність потоку, роботизований комплекс, пакетоформування.

**Постановка проблеми.** Останнім часом у технологічних схемах формування транспортних пакетів, скріплення вантажів різноманітними допоміжними



пакувальними засобами активно почали використовувати автоматизовані робототехнічні комплекси, які з розвитком комп'ютерних технологій вийшли на новий рівень можливостей. Пакувальне обладнання для реалізації цих технологій має безліч модифікацій, типів і видів [1]. Формування транспортних пакетів у загальному вигляді складається з трьох основних технологічних процесів: підготовка вантажних одиниць до пакування, вкладання їх за певною схемою в пакет і скріплення пакета. Типовий технологічний процес пакування тарних вантажів можна навести у вигляді схеми (рис. 1). Загальна технологія формування транспортних пакетів включає два варіанти: формування пакета на піддоні (або на підкладному листі) і формування пакета без піддона [2].



Рис. 1. Схема типового технологічного процесу формування транспортного пакета

Для виконання таких операцій здебільшого застосовується роботизовані комплекси (рис. 2), які складаються з робота-маніпулятора, систем конвеєрів для подачі тарних вантажів, для подачі пустої тари та відведення заповненого транспортного пакета.

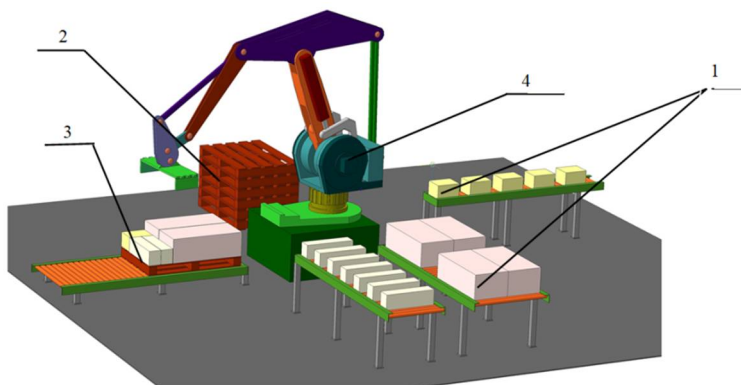


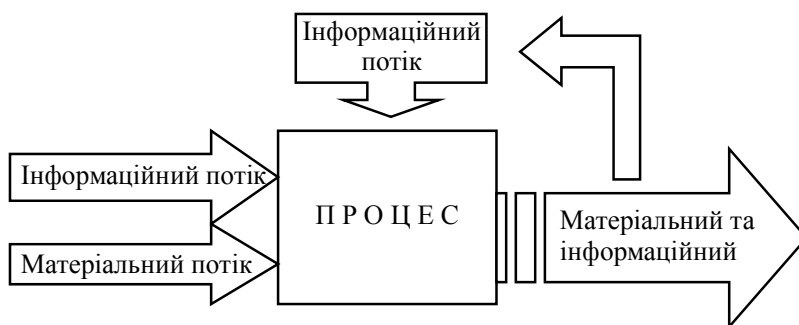
Рис. 2. Схема роботизованого комплексу для групового пакування:

1 — конвеєри подачі тарних вантажів різного типорозміру; 2 — конвеєр подачі тари; 3 — конвеєр відводу транспортного пакета; 4 — маніпулятор

Основною перевагою таких комплексів є можливість формування транспортного пакета з різних по типорозміру тарних вантажів, з різною продукцією та швидкоплинною можливістю переналадження системи при зміні форм, розмірів, ваги, циклу укладання, кількості вантажів у транспортному пакеті, форми та розмірів підкладного листа чи піддону.

Умовно обладнання, з якого складається типова схема пакетоформувального роботизованого комплексу, можна розділити на три основні групи. Перша — транспортна система, яка служить для подачі тарних вантажів і відведення транспортного пакета; друга — робот або маніпулятор, який виконує укладання тарних вантажів або формування транспортного пакету за попередньо заданою структурою; третя — систему подачі пустої тари з можливістю виділення одиничного зразка з магазину. У свою чергу, кожна група складається із системи взаємопов'язаних між собою одиниць обладнання або пристроїв, які характеризуються певними технологічними параметрами: часом виконання технологічної операції, надійністю роботи, величиною енергозатрат тощо. Синхронна робота обладнання забезпечується за рахунок інформаційних регуляторних впливів на рух матеріальних потоків [3].

Схему пакетоформуючого роботизованого виробничого комплексу для виконання заключних операцій можна представити у вигляді, представленому на рис. 3.



**Рис. 3.** Схема структури пакетоформуючого роботизованого комплексу для виконання заключних операцій

Відповідно до рис. 3, схема має чотири входи і один вихід, тобто відбувається з'єднання декількох матеріальних та інформаційних потоків в один вихідний, структура якого складається з поєднання різної кількості одиниць кожного вхідного потоку. З представленого видно, що основним обладнанням роботизованого комплексу є обладнання, що забезпечує «процес» формування вихідного потоку, тобто робот [4]. Якщо задатись умовою, що транспортна система безперебійно забезпечує подачу тарних вантажів і піддонів на робочі позиції і має певний запас продуктивності та можливість розподілення потоків тарних вантажів, наприклад, за типорозміром, то продуктивність роботи буде основною технологічною характеристикою комплексу. Таким чином, можна стверджувати, що підбір робота, який забезпечить максимальну продуктивність системи є основною проблемою під час модульного проектування таких комплексів. Методики розрахунків його продуктивності в таких системах в науковій літературі малодосліджені [5; 6].

**Мета дослідження** полягає у розробці математичної моделі для визначення максимальної продуктивності робота в системі роботизованих пакувальних комплексів для виконання заключних операцій на основі оптимального розподілу потоків тарних вантажів різних типів або видів за умови, що транспортно-складська система забезпечує відповідне їх завантаження.

У загальному випадку розрахована таким чином максимальна продуктивність пакетоформуючих роботизованих пакувальних комплексів є верхньою оцінкою продуктивності, яку можна досягнути при оптимальному підібраному складі основного устаткування [7].

**Матеріали і методи.** Початковими умовами для визначення продуктивності робота є технічна характеристика комплексу, основними параметрами якої є: продуктивність  $F$ ;  $n$  — кількість транспортних систем, які постачають тарні вантажі різних розмірів або різної номенклатури продукції;  $k$  — кількість тарних вантажів одного типорозміру, які використовуються для формування транспортного пакету; кількість технологічних операцій з тарним вантажем  $I = \{i_1, \dots, i_p\}$ , який виконує робот під час його укладання;  $\omega_i$  — час виконання  $i$ -ої операції, де  $i \in I$ .

Матриця формування пакета та її розмірність із числа тарних вантажів  $k$  типу має вигляд:

$$A = k \times I = \|\alpha_{ki}\|. \quad (1)$$

Тоді загальна кількість операцій, яку виконує робот під час формування транспортного пакета  $k$  типу, визначається за формулою:

$$Z_k = \{ i : \alpha_{ki} = 1 \}. \quad (2)$$

Продуктивність робота для тарного вантажу  $k$  типу  $F_k$  залежить від інтенсивності його потоку і позначається  $\sum_{k=1}^K \lambda_k$ , де  $k = \overline{1, K}$ .

Тоді для такої кількості  $k$  типу тарних вантажів необхідно забезпечити певну інтенсивність потоку вимог на виконання  $i$ -ої операції укладання, яку позначимо  $\sum_{i=1}^I \lambda_{ik}$ .

Введемо ряд обмежень для роботи системи. Всі інтенсивності потоків тарних вантажів є невід'ємними числами, тобто для будь-яких  $k$  та  $i$  виконуються вимоги:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k \geq 0, \quad \sum_{i=1}^I \lambda_{ik} \geq 0. \quad (3)$$

Інтенсивність потоку тарних вантажів будь-якого  $k$  типу відповідає певній частці їх кількості в загальному потоці, з яких формується транспортний пакет:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = \chi_n \cdot F, \quad (4)$$

де  $k = \overline{1, K}$ ,  $\chi_n$  — частка  $k$  типу тарних вантажів у загальному потоці  $n$ , з якого формується пакет.

Потік тарних вантажів  $k$  типу утворює потік вимог такої ж інтенсивності на виконання  $i$ -ої операції для кожного тарного вантажу і визначається як

$$\sum_{i=1}^I \lambda_{ik} = \alpha_{ki} \sum_{k=1}^K \lambda_k. \quad (5)$$

Розрахункова продуктивність робота для  $k$  типу елемента враховує час виконання кожної операції і має вигляд:

$$\rho = \sum_{i=1}^I \lambda_{ik} \omega_i, \quad (6)$$

де  $i = \overline{1, I}$ ,  $k = \overline{1, K}$ ,  $\rho$  — коефіцієнт продуктивності робота для  $k$  типу упаковок.

Перераховані умови будемо розглядати як обмеження для інтенсивності потоків кожного типорозміру тарних вантажів, які використовуються для формування транспортного пакета у визначений технологічний час.

Тоді завдання можна сформулювати так: збільшити до максимального значення продуктивність роботизованої системи, яка складається із кількості потоків  $n$  з урахуванням введених обмежень (3), (4), (5), (6) для кожного типу тарного вантажу.

Математична модель для визначення максимальної продуктивності робота складається з певної послідовності етапів.

Сумарна інтенсивність потоків всіх упаковок  $k$  типу становить:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = \chi_n \cdot F. \quad (7)$$

Сумарна інтенсивність вимог на виконання всіх операцій для  $k$  типу тарного вантажу:

$$\sum_{i \in I} \lambda_{ik} = \alpha_{ki} \chi_n. \quad (8)$$

Продуктивність робота для  $k$  типу тарного вантажу визначається за рівнянням:

$$\sum_{i \in I} \omega_i \lambda_{ik} = F \chi_n \alpha_{ki}. \quad (9)$$

Залежність (8) показує розподілення загального потоку вимог на виконання кожної операції для  $k$  типу тарного вантажу по робочим позиціям укладання.

**Результати досліджень.** Враховуючи реальні процеси переміщення тарних вантажів роботом під час формування транспортного пакета, можна стверджувати, що інтенсивність загального потоку виробів (а відповідно, і продуктивність), які переміщує робот, не залежить від розподілення потоків по їхньому

типу розміру, а визначається загальним потоком вимог на виконання кожної операції з вантажем по робочим позиціям укладання.

Якщо для формування транспортного пакета використовується  $n$  кількість потоків, кожний з яких постачає  $k$  типів тарного вантажу, то максимальна продуктивність робота, який забезпечує формування вантажного пакета в роботизованому пакувальному комплексі визначається з умови:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i \in I} \omega_i \lambda_{ikn} = \sum_{n=1}^N F \chi_n \alpha_{ki}, \quad (10)$$

де  $F \geq 0$ ,  $\lambda_{ikn}$  — інтенсивність потоку вимог на виконання  $i$ -ої операції для тарного вантажу  $k$  типу, які використовуються з  $n$ -ої кількості транспортних систем для формування транспортного пакета. Інтенсивність вимог повинна задовольняти умову  $\lambda_{ikn} \geq 0$  для будь-якого значення  $i$  та  $k$ , при цьому продуктивність робота буде максимальною:

$$F \rightarrow \max. \quad (11)$$

Математична модель представляє задачу лінійного програмування, в якій число обмежень дорівнює  $I + IK$ , а число змінних  $1 + IK$ . Отримана математична модель може бути використана для оцінки максимальної продуктивності в існуючих та її розрахунку в нових роботизованих комплексів для пакувальної індустрії.

Результат використання такої математичної моделі показаний у вигляді графіка зміни продуктивності пакетоформуючого роботизованого комплексу за умови використання декількох потоків тарних вантажів різних типорозмірів для формування транспортного пакета при виконанні роботом різної кількості технологічних операцій з вантажем по робочим позиціям укладання (рис. 4).

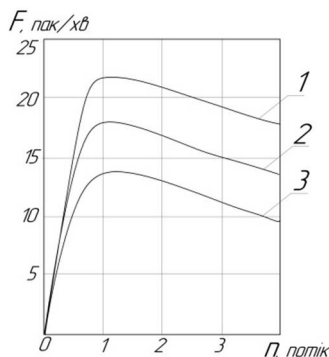


Рис. 4. Залежність продуктивності пакетоформуючого роботизованого комплексу за умови формування транспортного пакета з  $n$  потоків тарних вантажів різного типу при виконанні  $I$  кількості операцій з одним вантажем: 1)  $I = 2$ ; 2)  $I = 3$ ; 3)  $I = 4$

**Висновки.** Максимальну продуктивність робота може бути визначена за допомогою математичної моделі рівняння (6)—(11) з урахуванням обмежень (3), (4), (5), (6).

Аналітично досліджено, що інтенсивність загального потоку транспортних вантажів, які переміщує робот, не залежить від розподілення потоків виробів по

їхньому типу розміру, а визначається загальним потоком вимог на виконання кожної операції по робочим позиціям при формуванні транспортного пакета.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Гавва О.М.* Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко. — К. : ІАЦ Упаковка, 2006. — 96 с.
2. Проектирование и разработка промышленных роботов / С.С. Аншин, А.В. Бабич, А.Г. Баранов и др.; Под общ. ред. Я.А. Шифрина, П. Н. Белянина. — М. : Машиностроение, 1989. — 272 с.
3. *Юревич Е.И.* Промышленная робототехника и гибкие автоматизированные производства / Е.И. Юревич и др. — Л. : Лениздат, 1985. — 223 с.
4. *Спыну Г.А.* Промышленные роботы. Конструирование и применение: учеб. пособие. -2-е изд. / Г.А. Спыну, Е.И.Юревич — Выща шк., 1991. — 311 с.
5. *Пітра М.М.* Виконавчі механізми в укладальних машинах/ М.М. Пітра, О.І. Ковальов // Упаковка — 2003. — № 4. — С. 24—27.
6. *Ковалев А.И.* Разработка конструкций и методов расчета устройств для укладки пищевых упаковок в тару-оборудование: автореф. канд. техн. наук / А.И. Ковалев ; НУПТ — К., 1988. — 25 с.
7. *Костюк В.С.* Оптимизация параметров рабочих процессов и совершенствование конструкций автоматов для загрузки и розгрузки транспортной тары в пищевой промышленности : дис. канд. техн. наук / В.С. Костюк; НУПТ — К., 1989. — 277 с.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПАКЕТОФОРМИРУЮЩИХ ЛИНИЙ**

**Н.В. Якимчук, О.Н. Горчакова, С.В. Токарчук, Г.Р. Валиулин**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассматривается математическая модель для определения максимальной производительности роботизированных пакетоформирующих упаковочных линий. Определено влияние процесса распределения потоков упакованных изделий различного типоразмера по рабочим станциям транспортирующих систем при формировании пакетов и влияние их интенсивности для достижения максимальной производительности роботизированного комплекса. Полученные результаты в дальнейшем можно использовать при проектировании новых гибких роботизированных производств в упаковочной отрасли при модульном подходе к подбору их оборудования.*

**Ключевые слова:** *транспортный пакет, интенсивность потока, роботизированный комплекс, пакетоформирование.*

УДК 62-52

## WAYS OF COST OF AIR CUTTING AT TRANSPORTING OF PET-BOTTLES

V. Kostin, N. Kovaleva, N. Romanchenko

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
air conveyers, distribution of streams of the compressed air, PET-bottles, charges.	In the air conveyors working with a constant pressure of a current of air on all sections of the route of the conveyor, a considerable part of its volume is spent not rationally that reduces profitability of work of system of transportation. With the purpose of clarification of methodology of calculation of air conveyers research on determination of volumes of the compressed air is conducted necessary for moving of separate groups of bottles and influence on charges: systems of serve of air; geometrical descriptions of air ducts and transitional opening; parameters of bottles and gaps in an internal chamber.
<b>Article history:</b> Received 15.10.2017 Received in revised form 05.11.2017 Accepted 27.11.2017	
<b>Corresponding author:</b> tmipt_xp@ukr.net	The change of expense of the compressed air is analyzed in different zones at moving of groups of bottles and the ways of diminishing of volumes of the expended air are certain.

## ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПОВІТРЯ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ПЕТ-ПЛЯШОК

В.Б. Костін, канд. техн. наук

Н.І. Ковальова

Н.М. Романченко, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

З метою уточнення методики розрахунку повітряних конвеєрів проведено дослідження для визначення об'ємів стисненого повітря, необхідного для переміщення окремих груп пляшок, і впливу на витрати системи подачі повітря, геометричних характеристик повітропроводів і перехідних отворів, параметрів пляшок і зазорів між ними та вихідними отворами в допоміжній камері. Проаналізовано розподіл об'ємів стисненого повітря в різних зонах при переміщенні груп пляшок і виявлені шляхи зменшення витрат повітря.

**Ключові слова:** повітряні конвеєри, розподіл потоків повітря, пляшка, витрати.

**Постановка проблеми.** Відповідно до виробничих умов підприємств, на яких відбувається фасування харчових речовин, порожні ПЕТ-пляшки різного об'єму подаються від живильника до фасувального автомата окремим пневмоконвеєром. У процесі пересування пляшок поодиночці або групами витрачається визначена кількість стисненого повітря, частка якого виходить у зовнішнє середовище і втрачається, не беручи участі в процесі транспортування. Загальні об'єми витрат повітря залежить від розмірів горловини і діаметра пляшки, форми та геометричних параметрів камери транспортування [1].

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Повітряні конвеєри є основним видом транспортуючих систем для переміщення порожніх ПЕТ-пляшок від авто-

матів виготовлення до вузла фасування напоїв. Подібні транспортуючі системи використовуються в різних варіантах комплектацій і дають змогу переміщувати пляшки вздовж будь якої траєкторії, але найчастіше горизонтально.

**Метою дослідження** є визначення умов і факторів, що впливають на витрати стисненого повітря при переміщенні різних предметів пневмоконвеєром відповідно до вимог виробничого процесу.

**Матеріали і методи.** Були розглянуті конструкції сучасних пневмоконвеєрів, призначені для подачі порожньої тари до фасувальних автоматів у цехах розливу рідин. Для опису математичних моделей процесу витікання струменів стисненого повітря і його витрат було використано математичний апарат [2].

**Результати досліджень.** Конструкція секційного повітряного конвеєра (рис. 1) складається з вентилятора 1, двох повітряних камер: основної 2 та допоміжної 3, поворотних пристроїв 4, напрямних 5 з пластиковими накладками та здвоєних нижніх бокових напрямних 6 з елементами гальмування коливань.

У допоміжній камері з визначеним кроком зроблені отвори, крізь які під тиском подається повітря, що тисне на горловини пляшок і забезпечує їхній рух. В інженерній практиці використовуються схеми з розташуванням отворів з двох сторін по боках допоміжної камери та згори [3; 4]. Допоміжні камери також відрізняються за своєю конструктивною формою (рис. 2).

Передбачено, що по конвеєру можуть рухатися порожні пляшки різних типорозмірів, які мають певні параметри (об'єм, масу, форму, площу, опір переміщенню та ін.). Для їх ефективного переміщення потрібне раціональне поєднання тиску та об'ємів направлених струменів повітря.

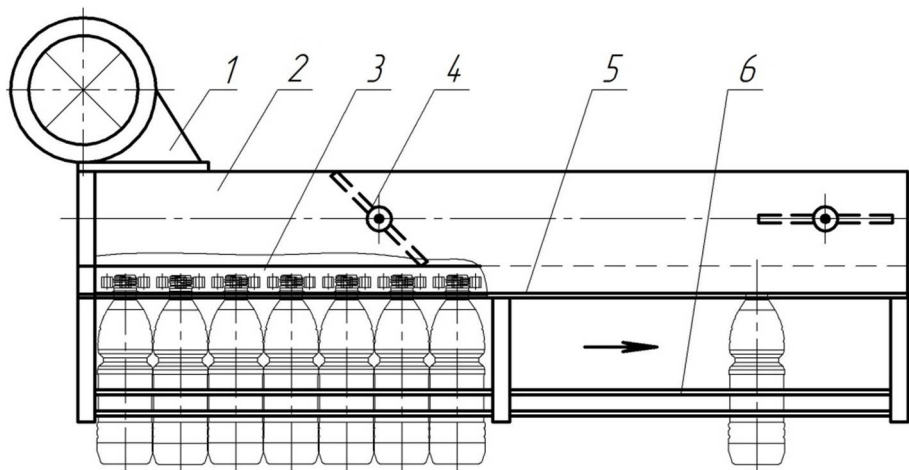


Рис. 1. Конструкція повітряного конвеєра

Це реалізується за допомогою спеціальних поворотних пристроїв, які у потрібний час перекривають ділянки основної повітряної камери (рис. 1), або закривають отвори подачі повітря в допоміжну повітряну камеру. В обох випадках додатково задіяні датчики наявності на напрямних конвеєра пляшок та система регулювання частоти обертання ротора вентилятора.

При конструюванні подібних потокових систем транспортування ПЕТ-тари необхідно визначити й оптимізувати характеристики процесу подачі і витрат повітря з урахуванням різних умов експлуатації повітряних конвеєрів.



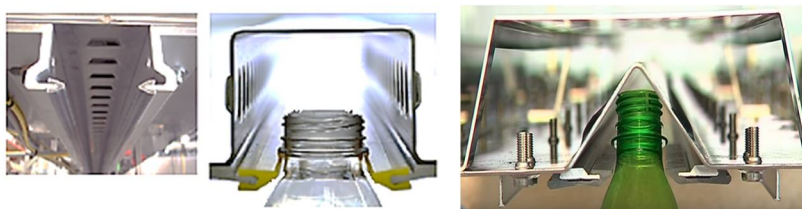


Рис. 2. Конструктивне виконання допоміжних камер

Особливістю конструкції вузлів повітряних конвеєрів є те, що в процесі переміщення пляшок між частиною отворів, через які подається повітря в допоміжну камеру і які безпосередньо наближені до горловин, утворюється прошарок стисненого повітря. А через ті отвори, які віддалені від горловин і лишуються відкритими, повітря частково витікає в навколишнє середовище. При певних поєднаннях параметрів пневмосистеми і розмірів об'єктів переміщення може скластися така ситуація, що об'єму повітря, яке витікає з отворів в допоміжну камеру, буде недостатньо для забезпечення руху пляшок в потрібному напрямку з необхідною швидкістю. Тому важливо розв'язати задачу врахування розподілення витрат повітря між основною і допоміжною камерами.

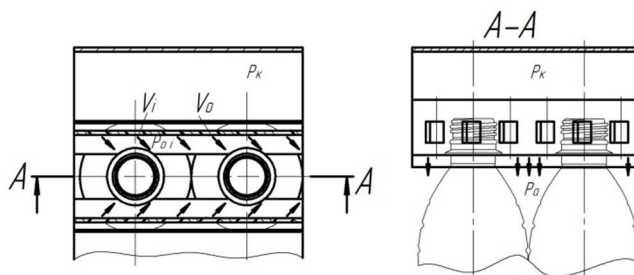


Рис. 3. Рух повітря в конвеєрі при переміщенні пляшок

Нехай на конвеєрі з рівномірно розміщеними отворами одночасно в середньому знаходяться  $\tau$  пляшок. Об'єм повітря, що проходить через кожний отвір, який знаходиться біля горловини пляшки з номером  $i$ , позначимо  $V_i$ , а об'єм повітря, який проходить через віддалений отвір —  $V_0$  (рис. 3). Вважаючи, що тиск  $P_k$  в основній камері буде постійним, і нехтуючи стисненням повітря, можна записати:

$$V_0 = \eta \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_k - P_a)} \quad \text{і} \quad V_i = \eta \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_k - P_{0i})}, \quad (1)$$

де  $i = 1, 2, 3, \dots, \tau$ ;  $\eta$  — безрозмірний коефіцієнт витрат ( $\eta \approx 0,65$ );  $S$  — площа отвору,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  — щільність повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $P_a$  — атмосферний тиск,  $\text{н}/\text{м}^2$ ;  $P_{0i}$  — тиск в зоні між отвором і поверхнею пляшки з номером  $i$ ,  $\text{н}/\text{м}^2$ .

У першому наближенні для пляшки, що рухається, можна записати рівняння рівноваги:

$$\frac{P_{0i}}{P_a} = 1 + \Psi_i \cdot \lambda_{1i}, \quad (2)$$

де  $i = 1, 2, \dots, \tau$ ;  $\lambda_{1i} = \frac{G_i}{\rho_a \cdot \sigma_i}$ ;  $G_i$  — маса пляшки;  $\sigma_i$  — проекція частки площі

пляшки за номером  $i$ , на яку тисне повітря;  $\Psi_i$  — безрозмірний коефіцієнт.

Крім записаних співвідношень, необхідно врахувати умову рівності витрат повітря, що подається в основну камеру, витрати повітря, що витікає з отворів в допоміжну камеру, тобто:

$$V = n_0 \cdot V_0 + \sum_{i=1}^{\tau} n_i \cdot V_i, \quad (3)$$

де  $n_i, n_0$  — кількість отворів, розміщених навпроти горловин пляшок, і кількість отворів, які розташовані між пляшками.

Для того, щоб видалити з виразу (3)  $n_i, n_0$ , зазначимо, що ці величини, за умови рівномірного розташування отворів вдовж стінок допоміжної камери, повинні задовольняти такі умови:

$$N = n_0 + \sum_{i=1}^{\tau} n_i \quad \text{при} \quad n_i = \frac{N}{\lambda_{2i}} \quad \text{і} \quad n_0 = N \left( 1 - \sum_{i=1}^{\tau} \frac{1}{\lambda_{2i}} \right) \quad \text{при} \quad \lambda_{2i} = \frac{\sigma_0}{\sigma_i}, \quad (4)$$

де  $N$  — загальна кількість отворів між повітряними камерами конвеєра;  $\sigma_0$  — площа опорної поверхні.

Об'єднавши вирази (1) і (3), з урахуванням (2) і (4), отримуємо рівняння:

$$V = N \cdot \left[ V_0 + \sum_{i=1}^{\tau} \frac{V_i - V_0}{\lambda_{2i}} \right] \quad \text{і} \quad V_i = \eta \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} [P_k - (1 + \Psi_i \lambda_{1i}) \cdot P_a]}, \quad (5)$$

де  $i = 1, 2, \dots, \tau$ .

Залежності (5) встановлюють зв'язок між тиском у живильній камері та основними витратними характеристиками пневмосистеми конвеєра. Якщо вважати, що тиск в основній камері ( $P_k$ ) відомий, то з рівнянь (5) можна визначити витрати повітря на всіх етапах переміщення пляшок.

Аналізуючи процес перерозподілу повітря між відкритими в атмосферу отворами і отворами, що розташовані поблизу горловин пляшок, можна записати:

$$V_i < V_0 \quad \text{при} \quad i = 1, 2, \dots, \tau. \quad (6)$$

Збільшення витрат повітря, що витікає в атмосферу, знижує ефективність роботи пневмоконвеєра, тому параметри системи необхідно вибирати такими, щоб  $V_0$  зводилось до мінімуму.

У випадку транспортування пляшок, ідентичних за своїми параметрами, отримані залежності можна спростити. Так, якщо припустити, що витрати повітря, яке витікає з одного отвору допоміжної камери, постійні і дорівнюють:

$$V_i = V_1; \quad i = 1, 2, \dots, \tau, \quad (7)$$

тоді, опускаючи індекси  $i$  в системі (5), з урахуванням виразу (7) отримаємо:

$$V = N \cdot \left[ V_0 + \frac{\tau}{\lambda_2} (V_1 - V_0) \right], \quad (8)$$

де об'єми повітря  $V_0$  і  $V_1$  будуть визначатися за залежностями:

$$V_0 = \eta \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (P_k - P_a)} \quad \text{і} \quad V_1 = \eta \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot [P_k - (1 + \psi \cdot \lambda_1) \cdot P_a]} \quad (9)$$

Вирішуючи систему рівнянь (8) і (9), а також враховуючи, що величина  $V$  відома заздалегідь, отримаємо:

$$V_1 = \frac{V}{N} \left[ \frac{-\tau(\lambda_2 - 1) + (\lambda_2 - \tau) \sqrt{(\lambda_2 - 1)^2 - \lambda_2(\lambda_2 - 2\tau)\lambda_3^2}}{(\lambda_2 - 2\tau)(\lambda_2 - 1)} \right] \quad \text{і}$$

$$V_0 = \frac{V}{N} \left[ \frac{(\lambda_2 - \tau) + (\lambda_2 - 1) \sqrt{(\lambda_2 - 1)^2 - \lambda_2(\lambda_2 - 2\tau)\lambda_3^2}}{(\lambda_2 - 2\tau)(\lambda_2 - 1)} \right]. \quad (10)$$

Оптимальним варіантом, коли частка витрат повітря, що витікає в атмосферу, зводиться до мінімуму, є той, при якому  $\lambda_{3i} \rightarrow 0$ . Якщо мінімальне значення загальних об'ємних витрат повітря буде відповідати умові  $V_{min} < V$  (того, що подається в основну камеру конвеєра), тоді всі пляшки рухатимуться, незважаючи на різні значення своїх параметрів, а якщо  $V_{min} \geq V$ , то хоча б одна з пляшок не буде мати змоги переміщуватися по конвеєрній лінії і нормальне функціонування буде неможливим. На величину  $V_{min}$  суттєво впливає величина зазору  $h$  між боковою стінкою допоміжної камери і горловинами пляшок.

У випадку, коли використовується повітряний конвеєр з  $\tau$  однаковими за своїми параметрами пляшками, вираз для мінімального значення об'єму повітря можна записати у вигляді:

$$V_{min} = \eta \cdot S \cdot N \cdot \left( 1 - \frac{\tau}{\lambda_2} \right) \cdot \sqrt{\frac{2\psi G}{\rho \sigma} + \frac{\tau h^3 G}{\mu \sigma f^3}}, \quad (11)$$

де  $\mu$  — коефіцієнт в'язкості повітря,  $\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$ ,  $f_i$  — безрозмірний коефіцієнт.

**Висновок.** Аналіз рівняння (11), показує що зниження значення  $V_{min}$  підвищує рентабельність використання конвеєрів. Для зниження загального об'єму витрат повітря необхідно зменшити величину  $h$ , яка входить у третьому ступені до формули (11). Це можливо завдяки раціональному розміщенню отворів і спрямованості потоків повітря відносно горловини пляшки. Збільшення кількості пляшок, які одночасно знаходяться на конвеєрі, також призводить до підвищення пропускної спроможності конвеєра.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Кривопляс-Володіна Л.О.* Оцінка витратних характеристик пневмосопла для технологічного процесу / Л.О. Кривопляс-Володіна, Г.Р. Валіулін, В.М. Любимов // Харчова промисловість. — 2015. — № 3. — С. 137—141.

2. *Донской А.С.* Обобщенные математические модели элементов пневмосистем / А.С. Донской. — СПб. : СПГУТД, 2001.-215 с.

3. Патент US 4284370 А, МКИ В29С49 / 42 , В65G51 / 03. Конвеєр повітряний для форм пляшок та пляшок /Данлер Річард У, Білобран Вільям Л. — № US 06 / 092,316; заявл. 8.11.1979; опубл. 18.08.1981. USPTO.

4. Патент US 6309144 В1, МКИ В65G51 / 03. Апарат для контролю потоку в повітряних конвеєрних системах /Томас М. Инграhem — № US 09 / 394,306; заявл. 810.09.1999 ; опубл. 30.10.2001. USPTO, US6000884.

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ПЭТ-БУТЫЛОК

**В.Б. Костин, Н.И. Ковальова, Н.Н. Романченко**

*Национальный университет пищевых технологий*

*С целью уточнения методики расчета воздушных конвейеров проведено исследование по определению объемов сжатого воздуха, необходимого для перемещения отдельных групп бутылок, и влияния на расходы системы подачи воздуха геометрических характеристик воздуховодов и переходных отверстий параметров бутылок, зазоров между ними и выходными отверстиями в вспомогательной камере. Проанализировано изменение расхода сжатого воздуха в различных зонах при перемещении групп бутылок и определены пути уменьшения объемов расходуемого воздуха.*

**Ключевые слова:** *воздушные конвейеры, распределение потоков сжатого воздуха, ПЭТ-бутылки, расходы.*

УДК 004.89:664.64.016

## CREATING ONTOLOGY BAKERY PRODUCTION PROTÉGÉ PROGRAM

D. Pankov, V. Kishenko, A. Ladanyuk  
National University of Food Technologies

---

**Key words:**

optimal control,  
bread making,  
ontology,  
knowledge base,  
expert system,  
Protégé.

**Article history:**

Received 13.09.2017  
Received in revised  
form 30.09.2017  
Accepted 16.10.2017

**Corresponding author:**

dimapankov77777@  
gmail.com

**ABSTRACT**

The developed ontology as the basis of the knowledge base of expert systems for decision support and automated tasks as technological complex of bakery products. Characteristics of ontology elements and assess their value. Verification carried ontologies created using tool, Protégé. Ontologies can be expanded, adding outstanding sections of the domain of bakery production, add new links between objects and increase performance. Ontologies play a crucial role in the model descriptions knowledge, without which, the entrance to any domain is not permitted. Designing an ontology — a creative process, and therefore the potential applications of ontology and developer understanding of the subject area and its point of view it will undoubtedly influence the decisions.

## СТВОРЕННЯ ОНТОЛОГІЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА У ПРОГРАМІ PROTÉGÉ

Д.В. Паньков

В.Д. Кишенько, канд. техн. наук

А.П. Ладанюк, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

*У статті розроблено онтології як основу бази знань експертної системи для організації підтримки і прийняття рішень у задачах автоматизованого оптимального управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва. Визначено характеристики елементів онтології та проведена оцінка їх значень. Верифікація створених онтологій здійснювалась за допомогою інструментального засобу Protégé.*

**Ключові слова:** оптимальне управління, хлібопекарське виробництво, онтологія, база знань, експертна система, Protégé.

**Постановка проблеми.** Для підвищення ефективності виробництва у хлібопекарській промисловості особлива роль відведена автоматизації технологічних процесів, основними завданнями якої є поліпшення якості хлібопекарської продукції, застосування ресурсощадних технологічних режимів, збільшення продуктивності виробництва [1]. Враховуючи високу лабільність характеристик сировини, актуальною проблемою автоматизації на хлібопекарських підприємствах залишається оперативна комплексна оцінка в реальному часі якості сировини, напівфабрикатів і готової продукції методами динамічної кваліметрії [2; 3].

Розв'язання таких задач можливо лише на основі сучасних інтелектуальних технологій і передових досягнень у теорії та практиці автоматизованого управління [4].

Одним із перспективних напрямків у підвищенні якості хлібопекарської продукції є використання онтологій для вирішення завдань інтеграції даних. Процес автоматизації будь-якої діяльності, як правило, вимагає формалізованої постановки задачі та її аналізу з метою вироблення методу рішення. Методи інтеграції даних на основі онтологій ефективні, однак побудова онтології вимагає експертних знань у досліджуваній предметній галузі та займає суттєвий обсяг часу, тому актуальним завданням виступає автоматизація процесу побудови онтології.

Онтологія подає інформацію так, що вона також може застосовуватися не тільки для відображення, але і для автоматизації, інтеграції та повторного використання тієї ж інформації в різних додатках, які включають у себе штучний інтелект, інформаційно-пошукові системи тощо. Онтологія визначається як сукупність великої кількості понять, їх визначень і відносин, представлених в ієрархічному порядку. Існують різні інструменти, доступні для розробки онтологій (Hozo, DOML і AltovaSemantic Works та ін.). Ми послуговуємося Protégé — однією з найбільш широко використовуваних онтологій-редакторів, що визначає розвиток концепції онтології (класи), властивості, таксономії, різні обмеження й екземпляри класів.

Підсистема інтелектуальної підтримки та прийняття рішень на основі динамічної експертної системи з використанням онтологій забезпечить реалізацію оптимального управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва [5].

**Мета статті:** дослідження складного технологічного комплексу хлібозаводу методами інженерії знань шляхом розробки онтологій, що дають необхідні можливості практичного застосування результатів для розробки ефективних ресурсощадних стратегій управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва.

Для досягнення мети поставлено завдання:

1. Скласти глосарій понять предметної галузі — хлібопекарське виробництво.
2. Визначити класи онтологій і побудувати ієрархію онтологій хлібопекарського виробництва.
3. Визначити атрибути класів і властивості екземплярів онтологій хлібопекарського виробництва.

**Матеріали і методи побудови онтології.**

Для ефективного розв'язання проблем представлення знань і реалізації механізму логічного виведення в інтелектуальних системах промислової автоматизації набули широкого поширення онтології [6; 7].

Задано:

а) категоріальний апарат онтології у вигляді кортежу глобальних об'єктів:

$$KA = \langle t, a, s, e, p, q \rangle, \quad (1)$$

де  $t$  — знак «поняття»;  $a$  — знак «дія»;  $s$  — знак «стан»;  $e$  — знак «подія»;  $p$  — знак «властивість»;  $q$  — знак «величини»;

б) конструкція знаку «поняття» :

$$T = \langle D, P, A, C, S, T, M \rangle, \quad (2)$$

де  $D$  — множина дефініцій поняття  $t$ ;  $P$  — множина дій поняття  $t$ ;  $C$  — множина термінів  $t$ ;  $S$  — множина стану поняття  $t$ ;  $T$  — множина поняття, що має відношення з терміном  $t$ ;  $M$  — множина метазнаків поняття  $t$ ;

в) текст термінологічного словника  $TD$ , релевантної моделі предметної області, проілюстрованої у вигляді двійки [8; 10]:

$$Msa = \langle Tk, Kk \rangle, \quad (3)$$

де  $Tk$  — множина понять;  $Kk$  — кортеж, що описує множину конструктів і їх взаємозв'язок.

Завданням дослідження є розробка методу, призначеного для розпізнавання у хлібопекарському виробництві глобальних відносин, глобальних об'єктів і елементів конструкцій їх знаків за таких обмежень:

1. Ступінь покриття конструктів у породжених правилах вихідних конструктів повинен прагнути до одиниці.

2. Результати рішення задач побудови онтологій із застосуванням створених систем хлібопекарської продукції і результати роботи експертів повинні бути близькі, а в ідеальному випадку — однакові [11].

Для вирішення поставленого завдання з метою успішного використання експертних знань потрібно сформувавши модель предметної галузі хлібопекарського виробництва. Застосовуючи методології еволюційних обчислень, на основі знань про модель предметної галузі, генеруються системи продукційних правил як декларативна ілюстрація методу. Оскільки експерт міркує природною мовою, то продукція матиме природно-мовне уявлення і її потрібно перетворити у формальне подання [12].

Передбачається, що розуміння онтології може бути використано для управління трьома ключовими процесами [14]: а) комунікація; 2) інтеграція та логічний висновок. Ці процеси ґрунтуються один на одному і відображають збільшені рівні формальності в сенсі використаних онтологій у міру зростання складності необхідних знань. У зв'язку з цим збільшуються вимоги до рівня формальності онтологій, починаючи з простих словників до формальних логічних структур, які дають змогу виконувати складні логічні висновки.

Структура онтології має відображати структуру предметної галузі хлібопекарського виробництва. Технологія виробництва хліба — галузь знань, що включає широкий спектр питань: технологічні процеси, обладнання, техніко-економічні аспекти виробництва. Хлібопекарське виробництво здійснюється в технологічному середовищі, вивчення якого можливо, тільки керуючись принципами системного підходу. У його системі виділяють підсистеми: функціональну, елементну та організаційну, які представляють собою сторони єдиного цілого. Функціональна сторона виробничої системи (заводу) і його підсистем (ділянок, ліній) визначається їх технологічним призначенням. Елементна сторона визначається складом цих ділянок і їх обладнанням для забезпечення технологічного призначення. Організаційна сторона встановлює структуру системи, ясну мету для кожної її складової частини і реалізує виконання мети відповідно до функціонального призначення.

Онтологія — це логічний підхід до опису структури понять предметної галузі, який дає змогу детально, осмислено, у науковому і зрозумілому для дослідника та експерта вигляді, сформувавши ієрархію ознак, що впливають на якість. Можна створити ієрархічне дерево ознак, яке може бути імпортоване в

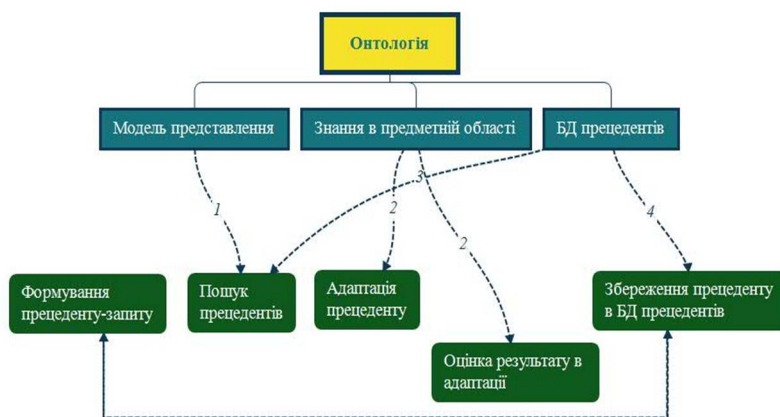
розроблювану систему підтримки прийняття рішень у галузі оцінки якості, що репрезентує собою web-додаток для проведення експертизи під назвою «Кваліметрична експертиза».

Онтологія як модель представлення прецеденту описує його як набір екземплярів класів і стосунків між ними [12]. Як база знань у предметній галузі вона описує знання як правила опису логіки (ОЛ) з використанням процедур виведення. Як БД прецедентів онтологія зберігає їх як частину знань предметної галузі (рис. 1).

Практично, створення онтології включає:

- визначення класів в онтології;
- розташування класів у таксономічну ієрархію (підклас — надклас);
- заповнення значень слотів екземплярів.

При реалізації онтології формуються дві незалежні одна від одної підсистеми: безпосередньо сама база знань (сутності і відносини між ними) і комплекс програм, призначений для обробки знань (функції інтерпретації, задані на сутності та відношеннях онтології), утворюючи класичну інтелектуальну систему [4; 7].



**Рис. 1. Схема інтеграції процесу міркування із прецедентів та онтології:**

- 1 — опис моделі надання прецедентів; 2 — формалізовані правила у предметній галузі;  
3 — прецедент із БД прецедентів; 4 — прецедент нового вирішеного завдання

База знань створюється з урахуванням її майбутнього використання, саме тут міститься «ядро» всієї системи, яке побудоване на основі моделей знань з використанням онтологій предметної галузі. Підсистема обробки знань повинна будуватися на принципах формальної логіки. В основі побудови онтології повинні лежати теоретичні знання, що ілюструють систему пов'язаних між собою понять і висловлювань в аналізованій предметній галузі, причому зв'язуються вони відповідно до концептів. Тоді форми, в яких фіксуються знання про об'єкт управління в результаті інтелектуальної діяльності, такі як «поняття», «висловлювання», «міркування», «логічне виведення», з одного боку, вже містяться в деякому формалізованому вигляді в базі знань, з іншого — можуть бути отримані алгоритмічно на основі цієї бази.

**Результати досліджень.** Онтологія для технологічного комплексу хлібопекарського виробництва створювалася у програмному засобі для розробки





Створена онтологія складається з головного класу «Хліб», який включає такі етапи, які представлені у вигляді класів:

- підготовка сировини до виробництва, а також підкласи «борошно», «сіль», «дріжджі», «вода»;
- технологічний процес приготування хліба, а також підкласи «приготування опари», «приготування тіста», «вистоювання, випікання».

Для стадії «випікання» було створено підклас «вихідні показники випікання», який включає в себе підклас «фізико-хімічні показники». Для фізико-хімічних показників характерні інші слоти і на ці слоти накладаються свої обмеження (допустимі діапазони технологічних змінних) залежні від технологічного процесу:

- вологість готового хліба;
- маса готового виробу;
- пористість хліба;
- температура центра м'якуша;
- титрована кислотність хліба.

Онтології на базі концептуалізації передбачають виділення її трьох взаємопов'язаних компонентів: таксономії термінів, описів сенсу термінів, а також правил їх використання й обробки у вигляді онтологічної моделі як знакової системи.

$$M = (O, A, R),$$

де  $O = \{o_1, o_2, \dots\}$  — множина онтологій;  $A$  — множина аксіом  $\{a_1, a_2, \dots\}$ ;  $R$  — функція, яка ставить у відповідність кожному елементу множини  $O$  певну підмножину елементів з множини  $A$  [1; 4].

У ході проведених досліджень, у результаті аналізу літературних джерел і опитування експертів було виявлено такі залежності параметрів, які використовуються для оцінки якості виготовлення хліба на стадії приготування опари:

$$W_{on} = f_{21}(F_{\bar{o}}, ВПЗ_{\bar{o}}, G_{\bar{o}}^o, G_e^o, t_e);$$

$$PC_{on} = f_{22}(\Gamma_{\bar{o}}, AA_{\bar{o}}, PC_{\bar{o}}, K_{on}, G_{\bar{o}}^o, G_e^o, G_{\bar{o}}\tau_{3o}, t_{on}, \tau_{\bar{o}o});$$

$$K_{on} = f_{23}(AA_{\bar{o}}, K_{\bar{o}}, K_{\bar{o}}, G_{\bar{o}}^o, \tau_{3o}, t_e, \tau_{\bar{o}o}),$$

де  $W_{on}$  — вологість опари;  $F_{\bar{o}}$  — сила борошна;  $ВПЗ_{\bar{o}}$  — водопоглинальна здатність борошна;  $G_{\bar{o}}^o$  — дозування частини борошна при приготуванні опари;  $G_e^o$  — дозування частини води при приготуванні опари;  $t_e$  — температура води;  $PC_{on}$  — підйомна сила опари;  $\Gamma_{\bar{o}}$  — газоутворююча здатність борошна;  $AA_{\bar{o}}$  — автолітична активність борошна;  $PC_{\bar{o}}$  — підйомна сила дріжджової суспензії;  $K_{on}$  — титрована кислотність опари;  $G_{\bar{o}}$  — дозування дріжджової суспензії;  $\tau_{3o}$  — зміна тривалості замісу опари;  $t_{on}$  — температура опари;  $\tau_{\bar{o}o}$  — тривалість бродіння опари;  $K_{\bar{o}}$  — титрована кислотність борошна;  $K_{\bar{o}}$  — титрована кислотність дріжджової суспензії.

Для стадії приготування тіста встановлені такі залежності між параметрами:

$$W_m = f_{31}(ВПЗ_{\bar{o}}, AA_{\bar{o}}, G_e^m);$$

$$PC_m = f_{32}(\Gamma_{\bar{o}}, AA_{\bar{o}}, PC_{on}, K_m, G_{\bar{o}}^m, G_e^m, G_{cp}, \tau_{3.on}, t_m, \tau_{\bar{o}m});$$

$$K_m = f_{33}(AA_{\bar{o}}, K_{\bar{o}}, K_{on}, G_{\bar{o}}^m, \tau_{3.m}, t_e, \tau_{\bar{o}m}),$$

де  $W_m$  — вологість тіста;  $PC_m$  — підйомна сила тіста;  $K_m$  — титрована кислотність тіста;  $t_m$  — температура тіста;  $\tau_{\text{от}}$  — тривалість бродіння тіста;  $\tau_{3m}$  — тривалість замісу тіста.

Для стадії вистоювання :

$$\Phi_{3m} = f_{41}(F_{\text{б}}, H_{\text{ідк}}, W_m, t_{\text{ш}}, \tau_{\text{вс}});$$

$$W_{m3} = f_{42}(W_m, \Phi_{\text{ш}}, t_{\text{ш}}),$$

де  $\Phi_{m3}$  — формоутримуюча здатність тістової заготовки;  $W_m$  — вологість тіста;  $t_{\text{ш}}$  — температура в шафі вистоювання;  $\tau_{\text{вс}}$  — тривалість знаходження тістової заготовки в шафі вистоювання;  $W_{m3}$  — вологість тістової заготовки;  $\Phi_{\text{ш}}$  — вологість у шафі вистоювання;  $t_{\text{ш}}$  — температура в шафі вистоювання.

У процесі випікання залежно від вхідних показників змінюють:

- температуру ( $t_{\text{вип}}$ ) і вологість ( $\varphi_{\text{вип}}$ ) випікання;
- тривалість випікання ( $\tau_{\text{вип}}$ ).

Висновки.

1. На основі аналізу технологічного комплексу хлібозаводу складено глосарій понять предметної галузі.

2. Визначено класи онтологій і побудовано ієрархію онтологій хлібопекарського виробництва.

3. Сформовано атрибути класів, зв'язки між класами та властивості екземплярів онтологій хлібопекарського виробництва, що забезпечило конкретизацію рішень щодо управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва відповідно із ситуацією, що склалась на об'єкті управління.

4. На основі створеної онтології розробляються продукційні правила на мові програмування експертних систем CLIPS, які будуть складати базу знань предметної галузі технологічного процесу для системи підтримки та прийняття рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. — СПб. : Профессия, 2005. — 416 с.

2. Ездаков А.Л. Экспертные системы САПР: учебное пособие / А.Л. Ездаков. — Москва : ИД «Форум», 2012. — 162 с.

3. Wriggers P. Integration of a case-based reasoning and an ontological knowledge base in the system of intelligent support of finite element analysis / P. Wriggers, M. Siplivaya, I. Joukova, A. Kapysh, A. Kultsov // Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences. — 2007. — Vol. 14, #. 4: 753—765.

4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб. : Питер, 2002. — 384 с.

5. Guarino N. Ontologies and Knowledge Bases. Towards a Terminological Clarification / N. Guarino, P. Giaretta // Towards Very Large Knowledge Bases. - N.J.I.Mars (ed.) IOS Press, Amsterdam, 1995. — P. 25—32.

6. Муромцев Д.И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé: методическое пособие / Д.И. Муромцев. — СПб : СПб ГУ ИТМО: 2007. — 62 с.

7. Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: Учебное пособие. / В.Д. Соловьев, Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич. — Казань, Москва : Казанский государственный университет, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006. — 173 с.

8. Smith K. Michael OWL Web Ontology Language. Guide. // URL: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>.

9. Jos de Bruijn On the Relationship between Description Logic-based and F-Logic-based Ontologies / Jos de Bruijn, Heymans Stijn — Fundam. Inform # 82(3), 2008. — P. 213—236.

10. Protégé. The Protege Project (<http://protege.stanford.edu>).
11. *Uschold M.* The Enterprise Ontology. / M. Uschold, M. King, S. Moralee, Y. Zorgios // The Knowledge Engineering Review, volume 13, issue 1, 1998. — P. 31—89.
12. *Gruber T.R.* The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases / T.R. Gruber // Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference. — Cambridge, MA, Morgan Kaufmann, 1991. — P. 601—602.
13. *Abecker A.* Ludger van Elst. Handbook on Ontologies / A. Abecker, Ludger van Elst. — Berlin : Springer Verlag, 2003. — P. 436—454.
14. *Mika P.* New Synthesis of Ontology Technology and Knowledge Management / P. Mika, H. Akkermans, A. Towards. Technical Report IR\_BI\_001. — Amsterdam, 2004. — P. 37 .

## СТВОРЕННЯ ОНТОЛОГІЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА В ПРОГРАМІ PROTÉGÉ

**Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье разработана онтология как основа базы знаний экспертной системы для организации поддержки и принятия решений в задачах автоматизированного оптимального управления технологическим комплексом хлебопекарского производства. Определены характеристики элементов онтологии и проведена оценка их значений. Верификация созданной онтологии осуществлялась с помощью инструментального средства Protégé. Разработанная онтология позволила построить модели знаний интеллектуальной системы управления, которое обеспечило улучшение качества продукции, увеличения производительности, уменьшения расходов ресурсов.*

**Ключевые слова:** оптимальное управление, хлебопекарное производство, онтология, база знаний, экспертная система, Protégé.

УДК 519.715

## INTELLIGENT DECISION SUPPORT SUBSYSTEM FOR CONTROLLING BEET PROCESSING DEPARTMENT OF SUGAR FACTORY

A. Bezuhlov, A. Ladanyuk, Y. Smityuh  
National University of Food Technologies

---

### Key words:

beet processing,  
intellectual systems,  
decision making,  
expert systems,  
coordination.

### Article history:

Received 17.10.2017  
Received in revised form  
19.10.2017  
Accepted 03.11.2017

### Corresponding author:

bezuhlov2andrii@gmail.com

---

### ABSTRACT

The article deals with an approach that allows us to create an effective intellectual decision support subsystem for integration into control process. Beet processing department of sugar factory is selected as a complicated technological complex. Particular attention is paid to the definition of production situations, creation of schemes of intellectual control system and pointing estimated quality evaluation. In the scheme of intelligent control system highlighted subsystems and directions for solving problems of identification and control. The database factors and the coefficient of effectiveness are presented for the presented production. The necessity is to create Intelligent Decision Support Subsystem beet processing department of sugar plant, developed structure, and model information control circuit.

---

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДСИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ КЕРУВАННЯ БУРЯКОПЕРЕРОБНИМ ВІДДІЛЕННЯМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

А.О. Безуглов

А.П. Ладанюк, д-р техн. наук

Я.В. Смітюх, канд. тех. наук

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто підхід, що дає змогу створити ефективну інтелектуальну підсистему підтримки прийняття рішень для інтеграції в процес керування. Об'єктом обрано бурякопереробне відділення цукрового заводу як складний технологічний комплекс. Особливу увагу приділено визначенню виробничих ситуацій, створенню схеми інтелектуальної системи керування та наведенню розрахункових оцінок якості. Показано необхідність створення ІПППР для бурякопереробного відділення цукрового заводу, розроблено структуру БПВ ЦЗ і модель інформаційної схеми керування.

**Ключові слова:** бурякопереробне відділення, інтелектуальні системи, прийняття рішень, експертні системи, координація.

**Постановка проблеми.** Функціонування бурякопереробного відділення цукрового заводу (БПВ ЦЗ) визначає показники роботи цукрового заводу в ціло-

му. В складі БПВ ЦЗ вирішується ряд технологічних завдань, а саме: підготовка та подача буряків на виробництво, отримання бурякової стружки, здійснення процесу екстрагування цукру для отримання дифузійного соку заданої якості та кількості. Одним із показників ефективного функціонування технологічних комплексів є ритмічність подачі матеріальних та енергетичних потоків (буряків, стружки, соку тощо), що безпосередньо пов'язано з показниками ресурсо- та енергоефективності заводу. Сучасні системи керування включають, крім стандартних регуляторів, підсистеми підтримки прийняття рішень.

**Мета дослідження:** на більшості цукрових заводів функціонують ієрархічні системи керування, на нижньому рівні яких використовуються, як правило, стандартні регулятори для стабілізації технологічних змінних. БПВ ЦЗ функціонує в умовах суттєвих невизначеностей, які характеризуються множиною виробничих ситуацій (множиною станів функціонування). Для підвищення ефективності роботи БПВ ЦЗ необхідно використовувати інтелектуальні методи, зокрема інтелектуальні підсистеми підтримки прийняття рішень (ІПППР).

Існують науково-технічні розробки, в яких розглядаються засоби побудови ІПППР [1], де використовується множина технологічних змінних, що характеризують техніко-економічну ефективність відділення, в якому здійснюється отримання бурякової стружки та процес екстрагування цукру. що формує узагальнені показники енергетичної ефективності підприємства. Ефективність процесу екстрагування залежить від первинної обробки, а саме: транспортування буряків транспортерами, мийки, відділення домішок та каміння, відділення корінців і різка буряків, а також температурного режиму.

Сучасні технології інтелектуального керування використовують великі масиви інформації, гнучкі алгоритми для ефективності керування. Використання лише одного критерію оптимальності не призводить до високих результатів, а їх нагромадження може обтяжувати інформаційне навантаження системи, на сучасному етапі роботи необхідно використовувати комбінування існуючих технічних та економічних критеріїв оптимальності [2—4]. У статті основна увага приділяється використанню інтелектуальних методів у процесі керування. Для БПВ ЦЗ при розробці ІПППР враховують ряд показників, зокрема визначення коефіцієнта аритмічності:

$$K_{ap} = \left\{ \sqrt{[\sum(q_i - q_{cp})^2 / n] / q_{cp}} \right\} \cdot \beta \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

де  $K_{ap}$  — коефіцієнт аритмічності;  $q_i$  — продуктивність заводу з переробки буряків за прийнятий інтервал часу (годину, зміну, добу, декаду, місяць);  $q_{cp}$  — середньочасова (середня за зміну, чи добу, чи декаду, чи місяць) продуктивність заводу по переробці буряків;  $n$  — число інтервалів (годин, змін, днів, декад, місяців) в визначальному часі;  $\beta$  — корегуючий коефіцієнт, який розраховують як  $\beta = 2f / n$ ;  $f$  — число інтервалів, у яких продуктивність з переробки буряків менша ніж середня величина за визначальний період.

**Матеріали і методи.** На рис. 1 показана технологічна схема БПВ ЦЗ, на основі якої розробляється база даних і виробничих ситуацій, зокрема: темп переробки буряків —  $W_0$ , цукристість буряків —  $G_0$ , відбір дифузійного соку —  $F$ , температурний режим —  $T$ ,  $H_2$  — завантаженість бункерів перед дифузійним апаратом, час дифузії —  $T_0$ :

$$D = f_D(F_3, G_0, W_0, F, H_2, T_0). \quad (2)$$

БПВ ЦЗ характеризується показниками складної системи (виділення підсистем, різні оцінки функціонування систем), що потребує формування керувальних дій для різних ситуацій. Як правило, на двох паралельних лініях встановлені три відцентрових бурякорізки, де має місце значна нерівномірність виходу бурякової стружки. БПВ ЦЗ має стохастичний характер зміни якості буряків на вході, а також містить процеси сортування, з нерівномірністю витрати вздовж зон дифузійного апарата, нерівномірністю вивантаження буряків та має інші причини, які необхідно врахувати.

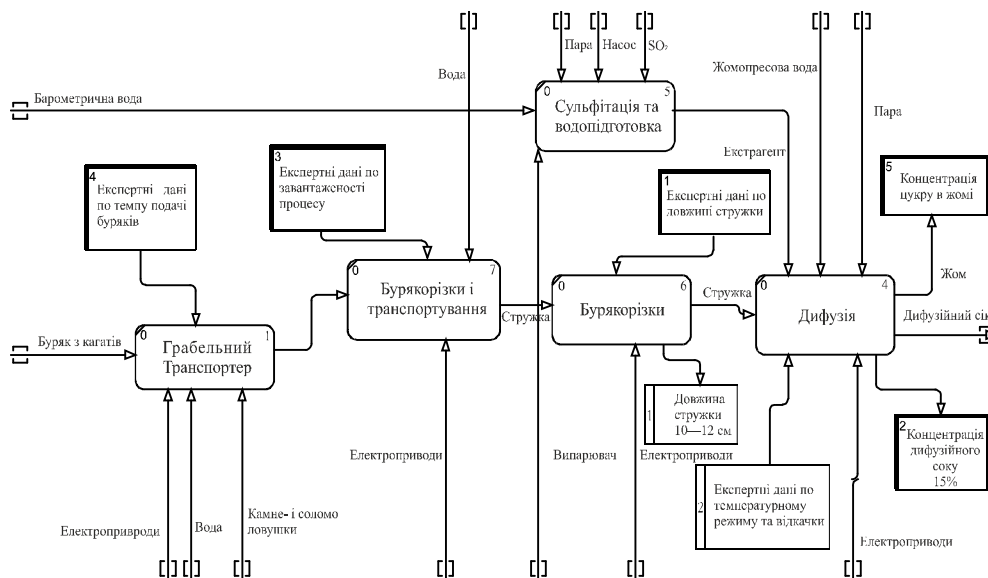


Рис. 1. Технологічна схема БПВ ЦЗ

На рис. 2 показана структура інтелектуальної системи керування (ІСК), до складу якої входять ПППР та ОК. Для керування підсистемами БПВ ЦЗ використовуються нечіткі методи, нейронні мережі, ситуаційні методи тощо. Отримані дані в блоці розпізнавання порівнюються із ситуаціями в базі прецедентів і на основі їх порівняння приймається рішення щодо управління підсистемами бурякопереробного відділення. В наведеній нижче схемі ІСК я ОК виступає БПВ ЦЗ. ПППР включає наповнену базу знань (БЗ), що складається з продукційних правил, алгоритму їх використання та бази даних (БД). До елементів ОК належать підсистеми: матеріального балансу сировинних ресурсів, підсистема тракту подачі буряків, підсистема дифузійного апарата та підсистема керування бурякорізками.

Проблема, яку вирішує ситуаційне керування, може полягати в тому, що однією з причин нестійкості розв'язку задач можуть бути некоректно сформовані математичні або інші моделі. Оскільки база результатів у системах ситуаційного керування визначена однозначно, це вирішує обидві (у вузькому розумінні) вищепераховані проблеми: можливі ситуації слабкої стійкості (недостатньої зумовленості), коли похибка результату є неприпустимо великою. В табл. 1 наведені приклади характеристик технологічного процесу БПВ ЦЗ та їх діапазон змінювання.

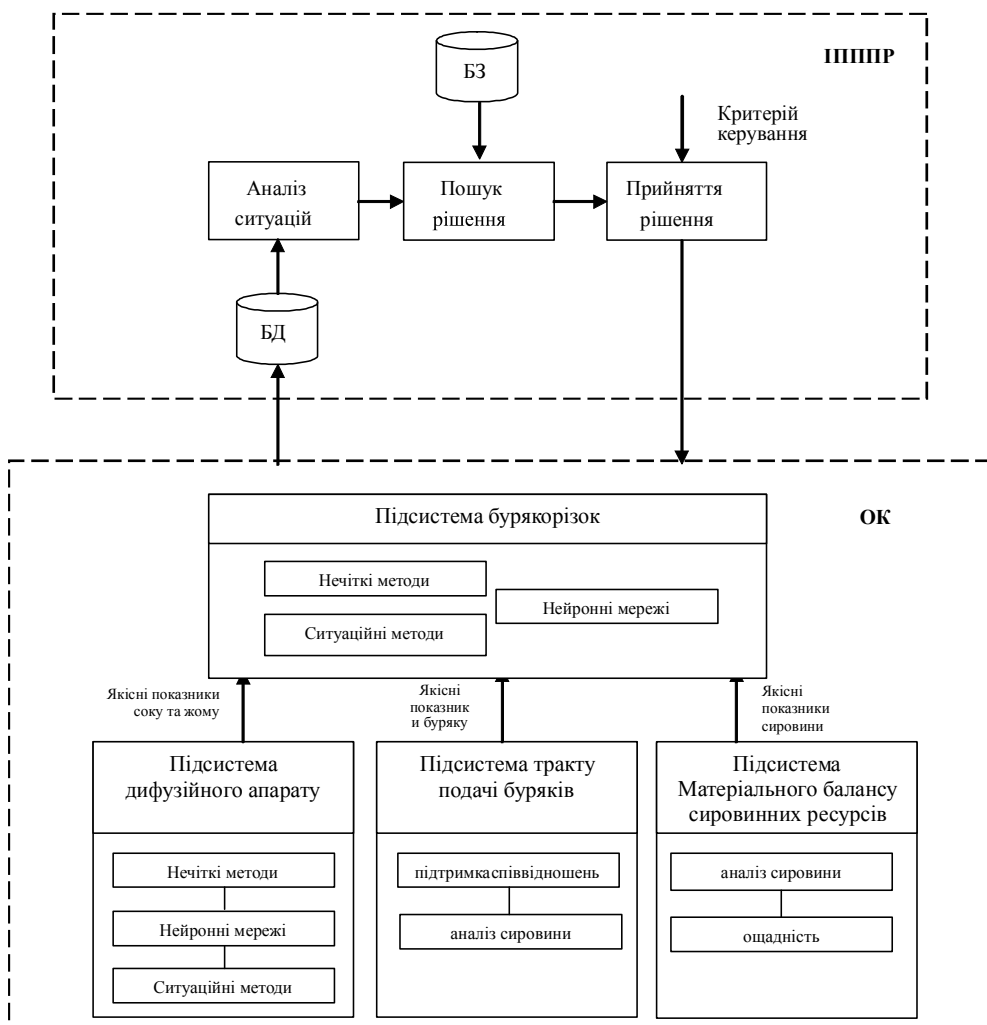


Рис. 2. Структурна схема інформаційної системи керування (ІСК)

Таблиця 1. Показники роботи БПВ ЦЗ

Позначення	Найменування, одиниці вимірювання	Діапазон зміни
$SAX_{стр}$	Вміст цукру в стружці, % до маси буряків	10,0—20,0
$HEC_{СТР}$	Вміст нецукрів у стружці, % до маси буряків	2,0—8,0
$\alpha_{ЖВ}$	Відносна витрата жомпресової води, % до маси буряків	0—50
$\alpha_{ПЖ}$	Відносна витрата жому після пресів, % до маси буряків	30—90
$SAX_{нд}$	Невраховані втрати цукру в дифузійному відділенні, % до маси буряків	0,05—2,5
$SAX_{н}$	Невраховані втрати цукру на виробництві, % до маси буряків	0,2—3,5

База даних містить ряд розрахунків, що забезпечують досягнення загальних показників ефективності. При дослідженні проводилось почергове залучення цих рівнянь, що безпосередньо впливають на роботу відділення і враховують



ряд невизначеностей, пов'язаних з сировинним забезпеченням та обробкою продукції. Як коефіцієнти бази даних для дифузійного відділення використані такі показники роботи:

- вміст цукру в жомі, % до маси буряків:

$$CAX_{Ж} = \frac{1 - \frac{\alpha_{ЖВ}}{\beta_0(\alpha_{Ж} + \alpha_{ЖВ})} CAX_{СТР}(\alpha \cdot 10^{-2} - \beta_0)}{(\alpha - \alpha_{ЖВ}\rho_0) \cdot 10^{-2} \exp\left(\gamma \frac{(\alpha \cdot 10^{-2} - \beta_0 \cdot 155,5q_B)}{\alpha A + \alpha_{ЖВ}\rho_0 \cdot 10^{-2} - \beta_0}\right)}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  — відносна витрата соку (відкачка) та виробництво, % до маси буряків;  $\beta_0$ ,  $\rho_0$ ,  $q_B$  — коефіцієнти рівняння;  $A$  — змінна продуктивність заводу по буряках;  $\gamma$  — вміст цукру в дифузійному соці, % до маси соку:

$$CX_{ДС} = \frac{CAX_{СТР} - CAX_{Ж} - CAX_{Н}}{10^{-2} \cdot \alpha}; \quad (4)$$

- вміст нецукрів в дифузійному соці, % до маси соку:

$$HEC_{ДС} = 0,128HEC_{СТР} - 0,18CAX_{СТР} + K_{HEC} \left(1 - \exp\left(-\frac{\alpha - 100}{30}\right)\right) + 3,75, \quad (5)$$

де  $K_{HEC}$  — коефіцієнт рівняння;

- вміст цукру в сухих речовинах дифузійного соку (чистота соку), % цукру до сухих речовин:

$$Ч_{ДС}^P = \frac{CX_{ДС}\alpha}{CX_{ДС}\alpha \cdot 10^{-2} + HEC_{ДС}}. \quad (6)$$

Нечітке ситуаційне керування та нейронечіткі мережі характеризуються швидкодією навчання, на основі розрахункових формул (3)—(6) нами обрано алгоритм, для якого множина можливих ситуацій буде найменшою. Звуження кола пошуку реакції і досягнення ряду значень коефіцієнтів аритмічності; співвідношення маси соку до стружки, яка поступає; співвідношення витрат матеріальних балансів, у конкретні моменти, тобто дискретність інтервалів між вимірами.

**Результати дослідження.** В процесі розробки ІППР для підсистеми обробки буряків визначили основні виробничі ситуації, які характеризують процес функціонування об'єкта.

Для моделі об'єкта визначені категорії змінних:

- відхилення від оптимального технологічного режиму;
- зміна входних характеристик продукції;
- порушення роботи енергетичного або технологічного обладнання.

Особливість описаних змінних характеризується неповнотою інформації, яку можна описати різними методами, в нашому випадку — нечіткими множинами. Нечіткі змінні аналізують даними, які мають якісний і кількісний характер, у їхньому складі виділяють корисні складові. Характеристика здійснюється множиною лінгвістичних змінних: норма, нижче норми, вище норми, низька, висока. З лінгвістичних правил формують продукційні правила[5; 6].

Нижче представлено фрагмент бази знань нейронечіткої системи для досягнення максимальної продуктивності роботи підсистеми обробки буряків (табл. 2).

Таблиця 2. Фрагмент бази виробничих ситуацій підсистеми

Процес	Ознака	Характер проблеми	Рекомендована дія керування
Отримання бурякової стружки	1. Зменшення товщини бурякової стружки порівняно із заданою величиною.	Засмічення камери різання низькоякісними відходами буряків; невірно розташовані рами з ножами.	Очистка вугіллям; зміна швидкості роботи двигунів; заміна ножових рам; переключення на іншу бурякорізку (якщо наявна вільна), виявлення аварійної ситуації.
	2. Збільшення товщини бурякової стружки порівняно із заданою величиною	Засмічення камери різання неякісними відходами буряків; невірно розташовані рами з ножами,	Зупинка роботи бурякорізки, перемикання на вільну, зміна рам, виявлення аварійної ситуації
	3. Отримання м'ятої, рваної, нешліфованої бурякової стружки.	Зламані ножі в одній або декількох ножових рамах.	Зупинка роботи бурякорізки, перемикання на вільну, зміна рам, виявлення аварійної ситуації.
	4. Отримання ламаної бурякової стружки.	Кут ножів невірний, ножі тупі, злам ножів, наявність неочищених буряків і каміння .	Зупинка роботи бурякорізки, перемикання на вільну, зміна рам, виявлення аварійної ситуації.

База знань (БЗ), що включена в ПППР для визначення режиму роботи бурякорізок, модифікується рядом фактів і зроблених припущень. Функції витрат для бурякорізок і продуктивності цукрового заводу загалом розраховують коефіцієнтами, що залежить від загального навантаження окремих вузлів заводу, або, як у даному випадку, лінії перед дифузійним відділенням (якщо дифузійних апаратів більше одного):

$$m_c = \frac{G_{заг}}{G}, \quad (7)$$

де —  $m_c$  кількість бурякорізок, що задіяні в процесі обробки;  $G_{заг}$  — загальна продуктивність заводу т/доба;  $G$  — продуктивність бурякорізки т/доба.

За основу прийнято режими роботи і часові ряди для ТОВ «Лановецький цукровий завод». Графіки функцій представляють кількість буряків, які потрапляють на бункер перед різками. Проведено аналіз матеріального балансу, який використано відповідно до технологічних режимів:

$$\sum_{i=1}^n G_i = \sum_{j=1}^n G_j + G_{вт}, \quad (8)$$

де  $G_i$  — загальна кількість буряків що поступають на обробку;  $G_j$  — кількість буряків без втрат;  $G_{вт}$  — втрати при обробці буряків;  $j$  — часові інтервали.

Залежність (8) можна застосувати окремо як для комплексу переробки буряків бурякорізками, так і для всього заводу.

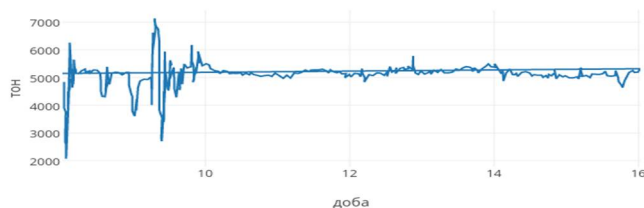


Рис. 3. Тренд переробки буряків, дифузійне відділення, т/добу

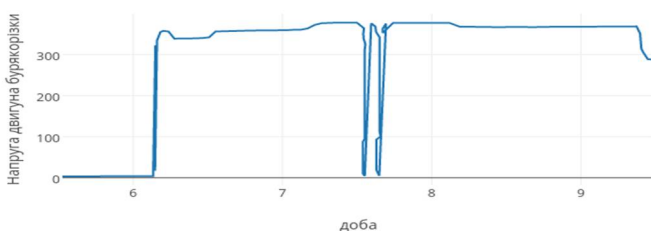


Рис. 4. Струм на бурякорізці

Нами використана класична методологія представлення знань [7]. Лінгвістичні змінні (у вигляді причинно-наслідкових зв'язків «Якщо... — То...») формують дані на основі знань експертів і за допомогою трендів (рис. 3, 4), наповнюючи таким чином базу знань нейронечіткої системи прийняття рішень із ситуаційним керуванням.

Використаємо логічну підсистему в складі ІПППР для бурякопереробного відділення цукрового заводу із базою знань, що змінюються залежно від технологічних режимів і комбінацій роботи підсистем БПВ. Керування бурякопереробним відділенням відбувається за допомогою непрямого управління, при якому ІПППР виконує послідовно функції оцінювання параметрів об'єкта, після чого наповнена база даних використовує отримані оцінки в алгоритмі керування [8].

Аналіз технологічного процесу показав, що при формуванні баз знань (бази правил) на кшталт: «Якщо <причина>, то <наслідок>» на кожну вихідну змінну  $z_i$ , безпосередньо впливає ряд величин  $y_1—y_3$ . Тому база правил буде містити сукупність правил такого вигляду: «Якщо < $y_1$  — висока> и < $y_2$  — низька> и < $y_3$  — середня> і < $y_4$  — висока>, то < $z_3$  — висока>».

**Висновки.** Доведено необхідність створення ІПППР для бурякопереробного відділення, приведені оцінки якості, розроблено структуру БПВ ЦЗ і модель інформаційної схеми управління. Наповнення бази знань ІПППР виконується на основі продукційних правил, що дає можливість урахувати реальні виробничі ситуації. У статті сформовано цілі управління, що відповідають за досягнення загальних показників якості процесів БПВ ЦЗ. За допомогою нейронечіткої ІПППР у складі системи управління передбачається координація між системами, де розподілена система в складі ІСК здійснює прогнозування технологічних режимів, на основі чого приймається рішення про необхідне керування.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. *Ляшенко С.А.* Об одном алгоритме обучения нейросетевой модели нелинейного динамического объекта / С.А. Ляшенко // Научно-технич. журнал «Бионика интеллекта». — Харьков : ХНУРЭ. — 2004. — Вып. №1(61) — С. 107—110.
2. *Онищенко Ю.В.* Оптимальне управління технологічним комплексом бурякопереробного відділення / Ю.В. Онищенко, А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько // Наукові праці НУХТ. — 2000. — С. 91—21.
3. *Федулов А.С.* Модели системной динамики на основе нечетких реляционных когнитивных карт [Электронный ресурс] / А.С. Федулов, В.В. Борисов // Системы управления, связи и безопасности. — 2016. — Режим доступа: до ресурсу : <https://goo.gl/J7WTXg>.
4. Ситуаційне управління складним динамічним об'єктом / А.П.Ладанюк, Р.О. Бойко, Т.М. Герасименко, Я.В. Смітюх. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — 2014. — № 27. — С. 299—304.
5. *Кофанова Н.В.* Ситуаційне управління брагоректифікаційною установкою за допомогою експертної системи [Електронний ресурс] / Н.В. Кофанова, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2012. — Режим доступа: <http://sbornik.dondu.edu.ua/article.php?id=149>.
6. Сучасні методи керування брагоректифікаційними установками / [Н.Г. Гриценко, А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька та ін.] // Энергетика і атоматика. — 2016. — С. 68—78.
7. *Jang J.-S. R.* ANFIS: Adaptive-Network- Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. — 1993. — Vol. 23. — P. 665—685 с.
8. *Ляшенко С.А.* Особенности применения нейросетевых технологий для автоматизации технологических процессов сахарного производства / С.А. Ляшенко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. — 2014. — Вип. 2. — С. 214—217. — Режим доступа : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKh\\_UPS\\_2014\\_2\\_55](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKh_UPS_2014_2_55).

## **ИНТЕЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕКЛОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИМ ОТДЕЛЕНИЕМ САХАРНОГО ЗАВОДА**

**А.А. Безуглов, А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье рассмотрен подход, который позволяет создать эффективную систему поддержки принятия решений для интеграции в процесс управления. В качестве объекта выбрано отделение переработки свеклы сахарного завода как сложный технологический комплекс. Определены производственные ситуации, создана схема интеллектуальной системы управления и наведены расчетные оценки качества. Продемонстрирована необходимость создания ИПППР для свеклоперерабатывающего отделения сахарного завода (БПВ ЦЗ), разработана структура БПВ ЦЗ и модель информационной системы управления.*

**Ключевые слова:** *свеклоперерабатывающее отделение, интеллектуальные системы, принятие решений, экспертные системы, координация.*

УДК 681.513.5

## APPLICATION PROCEDURE FOR REGULATORS FRACTIONAL FOR SYNTHESIS OF OPTIMAL AUTOMATIC CONTROL

M. Liashenko, O. Lobok, B. Goncharenko, M. Sych

National University of Food Technologies

**Key words:**

fractional calculus,  
derivintegrator,  
optimal control,  
quality criterion,  
control object simulation,  
regulator simulation,  
control system simulation.

**Article history:**

Received 17.05.2017

Received in revised form

09.06.2017

Accepted 05.09.2017

**Corresponding author:**

tmipt\_xp@ukr.net

**ABSTRACT**

The problem of application of fractional  $PI^\lambda D^\mu$ -regulators in the control of technological processes described by differential equations is considered, for example, the process of biological treatment of polluted waters or others. Linearization and discretization of the expressions of the models of the control object and regulator are carried out. The criterion of the quality of water purification control is given, the task of optimal control of the purification process is formulated. The criterion of the quality of automatic control of a fractional regulator for the functioning of a biological water purification system has been introduced. Optimum tunings of fractional regulators are obtained, the dynamics of transient processes of control action and the state of the purification system is investigated. Numerical simulation of fractional  $PI^\lambda D^\mu$ -and classical  $PID$ -regulator is carried out, a higher efficiency of fractional regulators is shown.

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ДРОБОВОГО ПОРЯДКУ ПРИ СИНТЕЗІ ОПТИМАЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

М.О. Ляшенко

О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук

Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук

М.А. Сич

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто задачу застосування дробових  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів при керуванні технологічними процесами, описаними диференціальними рівняннями, наприклад, процесом біологічної очистки забруднених вод або іншими. Проведена лінеаризація і дискретизація виразів моделей об'єкта керування і регулятора. Наведено критерій якості керування очищенням і сформульована задача оптимального керування. Отримано оптимальні налаштування дробових регуляторів, методом послідовного перебору досліджено динаміку оптимального керування.

**Ключові слова:** дробове числення, диферінтегратор, оптимальне керування, критерій якості, моделювання об'єкта керування, моделювання регулятора, моделювання системи керування.

**Постановка проблеми.** Дробове числення орієнтоване на похідні та інтеграли довільного порядку (раціонального, дійсного і навіть комплексного). Дробовим численням ще в XVII ст. починали займатися Ріман, Ливувіль, Грюнвальд, Літнік [4; 5; 8]. Але особливо активно теорія дробового числення розвивається в останні роки, а результати її широко використовуються при дослідженні хаотичної динаміки, динамічних нейронних мереж з дробовими порядками та конструювання (синтезу) регуляторів дробових порядків у теорії автоматичного керування.

Традиційно теорія і практика автоматичного керування орієнтовані на застосування класичного диференціального або інтегрального числення, тому є цілком логічним, що з розвитком дробового числення виникає потреба дослідження можливостей застосування дробових законів керування та побудови дробових регуляторів і виявлення особливостей систем керування з ними.

**Метою статті** є дослідження можливості та ефективності застосування дробових регуляторів у системах автоматичного керування технологічними процесами і порівняння їх з класичними регуляторами.

**Виклад основних результатів дослідження.** У статті розглянута задача моделювання керування технологічним процесом з використанням  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів дробового порядку.

Математичні моделі, що описують динаміку керування технологічними процесами відносно вибраних вихідних величин, отримують на основі матеріального або енергетичного балансу процесів у вигляді, наприклад, для системи біоочистки забруднених вод у складі аератора-реактора і відстійника, такої системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx_a(t)}{dt} = \mu(t)x_a(t) - D(t)(1+r)x_a(t) + rD(t)x_r(t), \\ \frac{ds(t)}{dt} = -\frac{\mu(t)}{Y}x_a(t) - D(t)(1+r)s(t) + D(t)s_{in}(t), \\ \frac{dx_r(t)}{dt} = -D(t)(\beta+r)x_r(t) + D(t)(1+r)x_a(t), \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_a(t)$ ,  $s(t)$  — відповідно, концентрація біомаси і субстрату в біореакторі;  $x_r(t)$  — концентрація рециркуляційної біомаси;  $D(t)$  — ступінь розведення, який визначається як  $D(t) = F(t)/V$ , де  $F(t)$  — об'ємна швидкість потоку,  $V$  — обсяг біореактора;  $s_{in}(t)$  — концентрація субстрату у вхідному потоці;  $Y$  — фактор виходу (прибутковості) біомаси;  $\mu(t)$  — питома швидкість росту біомаси, яка визначається за формулою Моно [3],  $r, \beta$  — коефіцієнти, що визначають, відповідно, відношення рециркуляційного потоку і потоку відходів біомаси до вхідного потоку;  $x_{a0}$ ,  $s_0$ ,  $x_{r0}$  — відповідно, концентрація біомаси, субстрату і рециркуляційної біомаси в початковий момент часу  $t_0$ ;  $t_0 < t \leq T$ ,  $T$  — кінцевий момент часу керування процесом.

Як регульований параметр (вихід моделі) вибрано величину  $s(t)$  — концентрацію субстрату в біореакторі, яка визначає якість очищення води. А як керувальний вплив на систему вибрано функцію ступеня розведення  $D(t)$ .

Для зручності систему (2) записано у векторному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = x^0, \end{cases} \quad (2)$$

де

$$f(x(t), u(t)) = \begin{pmatrix} f_1(x(t), u(t)) \\ f_2(x(t), u(t)) \\ f_3(x(t), u(t)) \end{pmatrix}, \quad x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a(t) \\ s(t) \\ x_r(t) \end{pmatrix}, \quad u(t) = D(t), \quad (3)$$

$$f_1(x(t), u(t)) = \mu(x(t))x_1(t) - (1+r)x_1(t)u(t) + rx_3(t)u(t),$$

$$f_2(x(t), u(t)) = -\frac{\mu(x(t))}{Y}x_1(t) - (1+r)x_2(t)u(t) + s_{in}(t)u(t),$$

$$f_3(x(t), u(t)) = -(\beta + r)x_3(t)u(t) + (1+r)x_1(t)u(t),$$

$$\mu(x(t)) = \mu_{\max} \frac{x_2(t)}{k_s + x_2(t)}.$$

Регульований параметр при цьому можна записати так:

$$s(t) = x_2(t) = c^T x(t), \quad (4)$$

де  $c = (0 \ 1 \ 0)^T$ .

Лінеаризуємо перетворену систему рівнянь (4) в околі заданого номінального керування  $u^*$  і відповідного йому вектора рівноважного стану  $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T$ , при якому  $f(x^*, u^*) = 0$  і який визначається як розв'язок системи нелінійних рівнянь  $f(x, u^*) = 0$  щодо вектора  $x$ .

Введемо такі позначення:

$$\Delta x(t) = \begin{pmatrix} \Delta x_1(t) \\ \Delta x_2(t) \\ \Delta x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(t) - x_1^* \\ x_2(t) - x_2^* \\ x_3(t) - x_3^* \end{pmatrix} = x(t) - x^*, \quad \Delta u(t) = u(t) - u^*. \quad (5)$$

Тоді лінеаризовану систему рівнянь моделі керування (2) можна представити такому у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta x(t)}{dt} = A\Delta x(t) + b\Delta u(t), \\ \Delta x(t_0) = x^0 - x^*, \end{cases} \quad (6)$$

З огляду на співвідношення (4) і позначення (5) рівняння для регульованої змінної (вихід моделі) запишемо у такому вигляді:

$$\Delta s(t) = c^T \Delta x(t), \quad (7)$$

де  $\Delta s(t) = s(t) - c^T x^*$ .

Модель керування (8) має один вхід і один вихід. Відомим способом стабілізації потрібних параметрів є застосування регуляторів у зворотному зв'язку в складі контура автоматизованої системи керування. Використаємо дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор [1,2] і порівняємо його ефективність з класичним  $PID$ -регулятором.

Аналогічно [7; 9] дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор представимо у такому вигляді:

$$\Delta u(t) = k_p (\Delta s(t)) + k_I \left( {}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta s(t) \right) + k_D \left( {}_{t_0} D_t^\mu \Delta s(t) \right), \quad (8)$$

де  $k_p$ ,  $k_I$ ,  $k_D$  — налагоджувальні коефіцієнти регулятора;  ${}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta s(t)$  — дробова похідна порядку  $\lambda$ ;  ${}_{t_0} D_t^\mu \Delta s(t)$  — дробовий інтеграл порядку  $\mu$ , причому  $\lambda, \mu$  — довільні дійсні числа з інтервалу  $(0, 2)$ , тобто  $\lambda, \mu \in (0, 2)$ . Якщо  $\lambda \geq 2$  або  $\mu \geq 2$ , то  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор набуває високого порядку, і структура його відрізняється від класичного  $PID$ -регулятора. Регулятор (10) є узагальненим дробовим  $PID$ -регулятором. Тому при  $\lambda=1$  і  $\mu=1$  маємо класичний  $PID$ -регулятор, при  $\lambda=1, \mu=0$ , отримуємо  $PI$ -регулятор, при  $\lambda=0, \mu=1$  маємо  $PD$ -регулятор, а при  $\lambda=0, \mu=0$  —  $P$ -регулятор. Всі ці різновиди класичних  $PID$ -регуляторів є окремими випадками дробового  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятора (10). Однак  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор є більш гнучким, ніж класичні, і має можливість краще регулювати (налаштовувати) динамічні властивості систем керування. На  $P-I-D$ -площині це означає, що замість «стрибків» між чотирма фіксованими точками ( $P$ ,  $PI$ ,  $PD$  і  $PID$ ) (рис. 1) на площині є можливість неперервного пересування ( $PI^\lambda D^\mu$ ) між ними при виборі параметрів  $\lambda, \mu$ .

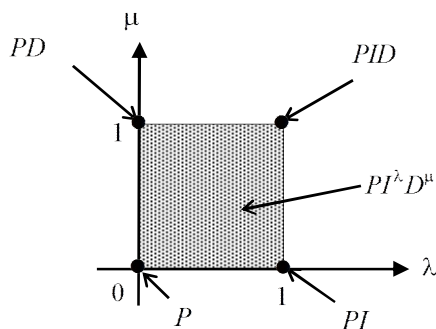


Рис. 1.  $P-I-D$ -площина дробових порядків похідних і інтегралів

Дробові похідні і інтеграли визначаються як межа [9]:



$${}_t D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-\alpha} \sum_{j=0}^{\left[ \frac{t-t_0}{h} \right]} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(t-jh), \quad (9)$$

де  $\binom{\alpha}{j}$  — біноміальні коефіцієнти вигляду  $\binom{\alpha}{j} = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(j+1) \cdot \Gamma(\alpha-j+1)}$ , в яких

$\Gamma(x)$  — гама-функція Ейлера виду  $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} e^{-y} y^{x-1} dy$  (нагадаємо, що при

цілому  $x=k$  вона дорівнює  $\Gamma(k+1)=k!$ );  $[\cdot]$  — ціла частина числа;  $h>0$  — приріст часової координати (квантування).

Якщо  $\alpha > 0$ , то формула (11) визначає дробову похідну, якщо ж  $\alpha < 0$ , то дробовий інтеграл. Тому співвідношення (11) часто називають диференціатором. Відзначимо також, що при цілих порядках  $\alpha$  в (11) буде кінцева сума, а при дробових  $\alpha$  — нескінченне число членів ряду.

З урахуванням (9)  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор (10) запишемо у вигляді оператора від стану  $\Delta x(t)$ :

$$\Delta u(t) = c^T \left( k_p (\Delta x(t)) + k_i \left( {}_t D_t^{-\lambda} \Delta x(t) \right) + k_D \left( {}_t D_t^\mu \Delta x(t) \right) \right). \quad (10)$$

Критерій якості автоматичного керування функціонуванням системи біологічної очистки (як ступінь очищення) має вигляд:

$$J_p = \int_{t_0}^T |\Delta s(t)|^p dt = \int_{t_0}^T |c^T \Delta x(t)|^p dt, \quad (11)$$

де  $p > 0$  — параметр, який на практиці приймають рівним  $p=1$  (модуль похибки) або  $p=2$  (середньоквадратична похибка).

Для чисельної реалізації сформульованої задачі оптимального регулювання [(12), (13)] дискретизуємо систему (6), дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор (10) і критерій (11), розбивши часовий інтервал  $[t_0, T]$  на  $n$  частин з кроком  $h = (T - t_0) / n$  ( $h$  — період квантування). Точки розбиття в  $[t_0, T]$  позначимо через  $t_k$ , а стан системи (6) в ці моменти часу  $t_k$  — через  $z_k = \Delta x(t_k)$ .

Апроксимуємо неперервний вхідний сигнал  $\Delta u(t)$  частково постійною функцією:  $\Delta u(t) = u_k$  при  $t_k \leq t < t_{k+1}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, n$  і, використовуючи матрицю лінійної неперервної системи (6), отримаємо такий її дискретний аналог:

$$\begin{cases} z_{k+1} = e^{Ah} z_k + A^{-1} (E - e^{-Ah}) b u_k, & k = 0, 1, 2, \dots, n-1, \\ z_0 = x^0 - x^*, \end{cases} \quad (12)$$

де  $E$  — одинична матриця;  $e^{Ah}$  — матрична експонента.

Далі дискретний дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор представимо у вигляді:

$$u_k = c^T \left( k_p(z_k) + k_I \left( h^\lambda \sum_{j=0}^k w_j^{(-\lambda)} z_{k-j} \right) + k_D \left( h^{-\mu} \sum_{j=0}^k w_j^{(\mu)} z_{k-j} \right) \right). \quad (13)$$

Відмітимо, що при  $k = 0$  керувальний сигнал дорівнює:

$$u_0 = (k_p + k_I h^\lambda + k_D h^{-\mu}) c^T z_0. \quad (14)$$

Критерій якості (11) запишемо в дискретизованому вигляді:

$$J_p = \frac{h}{2} \left( |c^T z_0|^p + 2 \sum_{j=1}^{n-1} |c^T z_j|^p + |c^T z_n|^p \right). \quad (15)$$

Чисельне моделювання керованої системи біоочищення і пошук оптимального регулятора здійснювалися при таких вихідних даних:  $s_{in} = 200$  [мг/л],  $Y = 0,65$ ,  $\mu_{\max} = 0,15$  [год<sup>-1</sup>],  $k_s = 100$  [мг/л],  $r = 0,6$ ,  $\beta = 0,2$ ,  $u^* = 0,05$  [год<sup>-1</sup>],  $t_0 = 0$ ,  $T = 1$  [год], вектор початкового стану системи (8) приймався рівним  $x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0)^T = (286, 17, 568)^T$  [мг/л]. Для пошуку оптимальних налаштувань регуляторів використовувався метод повного перебору з рівномірним кроком. Розв'язана задача мінімізації критерію:

$$I_p(\lambda, \mu) = \min_{k_p, k_I, k_D} J_p(k_p, k_I, k_D, \lambda, \mu) \quad (16)$$

відносно параметрів  $\lambda$  і  $\mu$ . Результати оптимізації методом повного перебору критерія (16) представлені в таблиці.

Таблиця. Оптимальні налаштування дробового  $PI^\lambda D^\mu$  і класичного  $PID$ -регуляторів

$p$	$\lambda$	$\mu$	$k_p$	$k_I$	$k_D$	$I_p(\lambda, \mu)$
1	1	1	-0,1381	-3,3019	-0,0016	0,0963
1	0,9750	0,750	-0,2231	0,0072	$-1,0847 \cdot 10^{-5}$	0,0854
2	1	1	-0,1294	-3,6445	-0,0015	0,1184
2	0,9875	0,600	-0,2234	0,0068	$-3,1249 \cdot 10^{-6}$	0,0855

У стовпцях  $\lambda$  і  $\mu$  наведені порядки похідних та інтегралів дробових регуляторів, в стовпцях  $k_p, k_I, k_D$  — оптимальні налаштування цих регуляторів, в останньому стовпчику — мінімальне значення критерію (18). Тут же для порівняння наведені результати оптимізації для класичного  $PID$ -регулятора при  $\lambda = 1$  і  $\mu = 1$ .

Результати показують, що значення цільової функції  $I_p(\lambda, \mu)$  ( $p = 1, p = 2$ ) при оптимальному дробовому  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторі ( $\lambda = 1, \mu = 0,9875$ ) менші, ніж при класичному  $PID$ -регуляторі.

**Висновки.** Порівняльний аналіз динаміки перехідних процесів показує більш високу швидкість і якість загасання при оптимальному дробовому  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторі ( $\lambda = 0,965, \mu = 0,5375$ ) порівняно з оптимальним класичним  $PID$ -регулятором ( $\lambda = 1, \mu = 1$ ). Видно, що оптимальні дробові регулятори з точним

налаштуванням параметрів  $\lambda$  (порядок дробового інтеграла) і  $\mu$  (порядок дробової похідної) є більш ефективними порівняно з класичним *PID*-регулятором. Але ступінь ефективності дробових регуляторів і причини високої чутливості критерію оптимальності та перехідних процесів щодо порядків дробових похідних та інтегралів вимагають подальших досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Авсиевич А.В. Моделирование систем автоматического управления с дробным ПИД-регулятором [Текст] / А.В. Авсиевич, В.В. Авсиевич // Вестник Самарского государственного технического университета, сер. техническое науки. — 2010. — № 1(26). — С. 6—59.
2. Бутковский А.Г. Дробное интегро-дифференциальное исчисление и его приложения в теории управления. II. Дробные динамические системы: моделирование и аппаратная реализация [Текст] / А.Г. Бутковский, С.С. Постнов, Е.А. Постнова // Автоматика и телемеханика. — 2013. — № 5. — С. 3—34.
3. Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. [Текст] / В.В. Васильев, Л.А. Симак // Научное издание. — Киев, НАН Украины, 2008. — 256 с.
4. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение [Текст] / А.М. Нахушев. — М. : Физматлит, 2003. — 272 с.
5. Самко С.Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения [Текст] / С.Г. Самко, А.А. Килбас, О.И. Маричев // Наука и техника. — Минск, 1987. — 688 с.
6. Учайкин В.В. Метод дробных производных [Текст] / В.В. Учайкин. — Ульяновск : Артишок, 2008. — 512 с.
7. Podlubny I. Fractional-order systems and PID controllers. / Podlubny I // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1999. — # 44 — P. 208—214.
8. Podlubny I. Fractional Differential Equations / Podlubny I. // Mathematics in Sciences and Engineering. — 1999. — Vol.6. — P. 198—340.
9. Vinagre B.M. Using fractional order adjustment rules and fractional order reference models in model-reference adaptive control / Vinagre B.M., Petras I., Podlubny I., Chen Y.Q. // Nonlinear Dyn. — 2002. — # 29(1—4). — P. 269—279.

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ДРОБНОГО ПОРЯДКА ПРИ СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

М.А. Ляшенко, А.П. Лобок, Б.Н. Гончаренко, М.А. Сыч

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматривается задача применения дробных  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторов для управления технологическими процессами, описываемыми дифференциальными уравнениями, например, процесса биологической очистки загрязненных вод или других. Проведена линеаризация и дискретизация выражений моделей объекта управления и регулятора. Приведен критерий качества управления очисткой воды, сформулирована задача оптимального управления процессом очистки. Получены оптимальные настройки дробных регуляторов, методом последовательного перебора исследована динамика оптимального управления.

**Ключевые слова:** дробное исчисление, дифференциальный регулятор, оптимальное управление, критерий качества, моделирование объекта управления, моделирование регулятора, моделирование системы управления.

УДК 331.45

## RESEARCH OF OCCUPATIONAL INJURIES AT FOOD INDUSTRY ENTERPRISES IN THE PRODUCTION OF BEVERAGES

O. Yevtushenko, A. Siryk, P. Porodko, V. Kovbych  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

labor protection,  
labor safety,  
accident,  
occupational injuries

**Article history:**

Received 02.04.2017  
Received in revised form  
25.04.2017  
Accepted 10.06.2017

**Corresponding author:**

alsok3030@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The article analyses the condition of industrial traumatism at the enterprises of the food industry in the manufacture of beverages for the period 2010—2015, found that the organizational causes lead to 80% of injuries. The results of the analysis of accidents with a fatal outcome depending on the age of the affected employees and seniority in the profession, with training and briefings on labor protection. The results are significant, which should be considered in the development of organizational and technical measures and is the basis for the application of urgent measures aimed at addressing the identified deficiencies. The results obtained can be used in the improvement of project management decisions to ensure safe working conditions of food industry enterprises and enterprises of other industries of Ukraine.

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ НАПОЇВ

О.В. Євтушенко, канд. техн. наук

А.О. Сірик

П.В. Породько

В.О. Ковбич

*Національний університет харчових технологій*

*У статті проаналізовано стан виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв за 2010—2015 роки. Встановлено, що організаційні причини призводять до 80% виробничих травм. Наведено результати аналізу нещасних випадків зі смертельними наслідками залежно від віку постраждалих працівників і стажу роботи за професією, проходженням навчання та інструктажів з охорони праці.*

**Ключові слова:** охорона праці, безпека праці, нещасний випадок, виробничий травматизм.

**Постановка проблеми.** На харчових підприємствах при виробництві напоїв на рівень виробничого травматизму впливає велика кількість факторів, які діють у взаємному зв'язку й обумовленості [1; 2]. Тому організаційна структура забезпечення охорони праці повинна бути досить оперативною та враховувати комплексну дію всіх виробничих факторів, які впливають на неї, своєчасно виявляти, робити їх облік, аналіз і оцінку та не допускати травмонезбезпечних ситуацій.

Згідно з Національною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014—2018 роки, затвердженої Законом України від 4 квітня 2013 року № 178-IV, на всіх підприємствах повинні бути розроблені та впроваджені комплексні організаційно-технічні заходи з охорони праці, спрямовані на забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці працівників у процесі трудової діяльності, профілактики травматизму, недопущення виникнення аварій і надзвичайних ситуацій.

Аналіз статистичних даних показників виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв дасть змогу розробити обґрунтовані й ефективні шляхи профілактики та зниження ризику травмування працівників галузі. Завдяки цьому стане можливим на галузевому, регіональному та виробничому рівнях управління охороною праці визначати напрями та рекомендації щодо створення безпечних умов праці виробничого персоналу. Це є актуальним науковим завданням, пов'язаним передусім з вирішенням соціальних проблем.

**Мета дослідження:** провести статистичний аналіз нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв.

**Методи досліджень.** Одним із методів дослідження виробничого травматизму є статистичний. Статистичний метод дає можливість визначити кількісну сторону 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 державного спостереження 7-тнв.

**Результати досліджень.** Дослідження спрямовано на вивчення і порівняння статистичної інформації показників виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв та виконано відповідно до плану наукової й науково-технічної діяльності Національного університету харчових технологій у рамках Держбюджетної науково-дослідної роботи: № ДР 0115U003534 від 21.04.2015 року «Дослідження виробничого травматизму в енергетичному господарстві та на підприємствах харчової, фармацевтичної промисловості».

Незважаючи на загальну тенденцію зниження кількості нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості, рівень виробничого травматизму залишається високим, темпи його зниження низькими. Тільки за період 2010—2015 рр. у харчовій промисловості було травмовано 2,43 тис. осіб в тому числі 168 осіб на харчових підприємствах при виробництві напоїв (рис. 1) [3; 4].

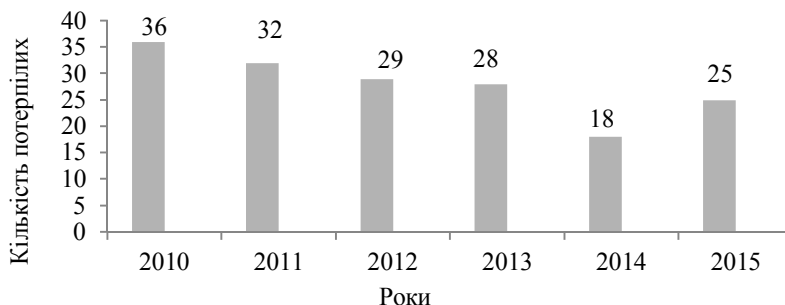
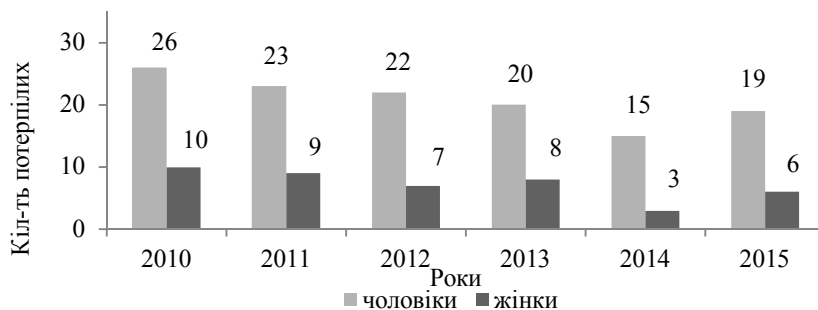


Рис. 1. Динаміка виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв, 2010—2015 рр.

За даними Держкомстату, на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв з 2010 р. по 2015 р. виробничі травми отримали 168 праців-

ників. З них 74,4% травм отримано особами чоловічої статі. На жіночу стать припадає 25,6%, що майже у 3 рази менше від рівня травматизму чоловіків (рис. 2).



**Рис. 2.** Динаміка розподілу кількості травмованих працівників чоловічої та жіночої статі на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв, 2010—2015 рр.

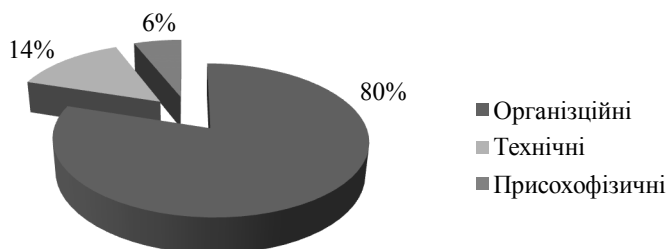
Основними обліковими показниками травматизму сьогодні є різні варіанти показників його частоти й тяжкості (Кч, Ктт) [5].

З табл. 1 видно, що коефіцієнт частоти травматизму повторює тенденцію щодо монотонного зменшення загальної кількості нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв. У 2015 р. показник Кч був у 1,3 раза менший, ніж у 2010 р. і становив відповідно 0,7 проти 0,9. У той же час коефіцієнт тяжкості травматизму у 2015 р. збільшився порівняно з 2010 р. і становив 34,5 проти 28,1. Це свідчить про те, що, незважаючи на зниження загальної кількості нещасних випадків на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв, тяжкість травм зростає.

**Таблиця 1.** Розрахункові показники виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв, 2010—2015 рр.

Показники рівнів виробничого травматизму	Роки					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Коефіцієнт частоти травматизму, Кч	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7
Коефіцієнт тяжкості травматизму, Ктт	28,1	29,3	30,1	31,0	16,9	34,5

Аналіз причин травматизму [6] дає змогу стверджувати, що організаційні причини призводять до 80% виробничих травм серед робітників харчової промисловості при виробництві напоїв (рис. 3). Найбільш поширеними із них є порушення трудової і виробничої дисципліни (12,2%), порушення правил дорожнього руху (11,2%), недоліки під час навчання безпечним прийомам праці (10,9%).



**Рис. 3.** Розподіл кількості потерпілих від виробничого травматизму за основними причинами на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв, 2010—2015 рр.

Велике значення мають технічні причини травматизму, що виникли внаслідок конструктивних недоліків, недосконалості, недостатньої надійності засобів виробництва (5,4%), недосконалості, невідповідності вимогам безпеки технологічного процесу (3,2%), незадовільного технічного стану виробничих об'єктів, будинків, споруд, території, засобів виробництва та транспортних засобів (2,6%).

За даними Держкомстату, на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв з 2010 р. по 2015 роки виробничі травми зі смертельним наслідком отримало 22 особи чоловічої статі [3; 4].

Понад 30% смертельно травмованих робітників мали вік у діапазоні 40...50 років. Ще понад 25% потерпілих були віком від 30 до 40 років. Отже, загиблі у віці віз 30 до 50 років становлять майже 57% від усіх смертельно травмованих у галузі. Це можна пояснити тим, що на цю вікову категорію припадає найбільша кількість працівників на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв. Велика частка травм припадає на досвідчених робітників, які мають стаж роботи більше 20 років, та на робітників зі стажем роботи за професією до року.

Аналіз показав, що понад 30% загиблих працівників на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв 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. Перевірка знань для робіт підвищеної небезпеки не проведена більше ніж з половиною загиблих працівників [9; 10].

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.

Аналіз показав, 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. Серед травмованих частка керівників складає трохи більше 2%.

Наведені результати є показовими, тому повинні враховуватись при розробці організаційно-технічних заходів. Крім того, результати аналізу є підставою для застосування термінових заходів, спрямованих на усунення виявлених недоліків.

**Висновки.** На основі аналізу статистичних даних по підприємствам харчової промисловості при виробництві напоїв за 6 років встановлено, що організаційні причини призводять до 80% виробничих травм. Незважаючи на загальну тенденцію зниження кількості нещасних випадків, рівень виробничого травматизму залишається високим, тільки за період 2010...2015 рр. травми отримали 168 працівників, із них загинуло 22 працівники. Велика частка травм припадає на досвідчених робітників, які мають стаж роботи більше 20 років, та на робітників зі стажем роботи за професією до року. На ці факти слід звертати особливу увагу під час проведення первинного та повторного інструктажів на робочому місці. Крім того, потрібно підвищити якість самих інструктажів, посилити контроль за роботою працівників з невеликим фаховим стажем. Також необхідно підвищити відповідальність керівників усіх рівнів на підприємствах харчової промисловості при виробництві напоїв з метою запобігання порушення ними законодавства про охорону праці.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. *Породько П.* Шкідливі та небезпечні чинники на спиртовому заводі / П. Породько, В. Ковбич, О. Євтушенко // Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 5—6 квітня 2017 р. — К. : НУХТ, 2017. — Ч. 2. — С. 323.
2. *Євтушенко О.* Аналіз статистики виробничого травматизму на підприємствах харчової промисловості при виробництві пива, спирту, безалкогольних та лікєро-горіччаних напоїв / О. Євтушенко П. Породько, І. Алексюк // Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 82 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 13—14 квітня 2016 р. — К. : НУХТ, 2016. — Ч. 2. — С. 362.
3. *Калачова І.* Статистичний бюлетень. Травматизм на виробництві у 2010—2013 роках / Калачова І. — К. : Держкомстат України., 2014.
4. *Карамзіна О.О.* Статистичний бюлетень. Травматизм на виробництві у 2014—2015 роках / Карамзіна О.О. — К. : Держкомстат України., 2016.
5. *Запорожець О.І.* Основи охорони праці / О.І. Запорожець, О.С. Протеєрейський, Г.М. Франчук, І.М. Боровик. — К. : «Центр учбової літератури», 2016. — 264 с.
6. *Комар А.С.* Аналіз стану охорони праці в агропромисловому комплексі України / А.С. Комар // Науковий вісник ТДАТУ. — Мелітополь : ТДАТУ, 2012. — Вип. 2. — Т. 3. — С. 75—80.
7. *Петров В.* Статистика і реальність / В. Петров // Охорона праці. — 1999. — № 12. — С. 24—25.
8. *Gilding P.* Safe companies: an alternative approach to operationalizing sustainability/ P. Gilding, M. Hogarth, R. Humphries. // Corporate Environ. Strategy. — # 9(4). — 2002. — P. 390—397.
9. *Кружилко О.Є.* Алгоритм підготовки управлінських рішень на основі комбінованого методу оцінки ризику виробничого травматизму / О.Є. Кружилко, О.В. Богданова // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — К. : НУХТ, 2016. — № 3 (том 22). — С. 140—149.
10. *Kruzhilko O.* Method of human factor minimization in expert judgement for occupational risk assessment and decision making / O. Kruzhilko, O. Bogdanova // Ukrainian Journal of Food Science. — 2016. — Vol. 4. — Is. 1. — P. 138—150.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ**

**О.В. Євтушенко, А.О. Сирик, П.В. Породько, В.О. Ковбик**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье проанализировано состояние производственного травматизма на предприятиях пищевой промышленности при производстве напитков за 2010—2015 годы. Установлено, что организационные причины приводят к 80% производственных травм. Приведены результаты анализа несчастных случаев со смертельным исходом в зависимости от возраста пострадавших работников и стажа работы по профессии, прохождением обучения и инструктажей по охране труда*

**Ключевые слова:** *охрана труда, безопасность труда, несчастный случай, производственный травматизм.*



УДК 664.72.047,54:005.591.6

## HEAT TRANSFER OF DOPASOWA ENVIRONMENTS FOR THE SAME GRADIENTS OF MOISTURE AND TEMPERATURE

**I. Gaponyuk***National University of Food Technologies***Key words:**

dehydration,  
heat,  
moisture exchange,  
heat transfer gradient

**Article history:**

Received 01.05.2017  
Received in revised form  
10.06.2017  
Accepted 10.09.2017

**Corresponding author:**  
igor@nuft.edu.ua

**ABSTRACT**

The results of studies of the kinetics of temperature and moisture content of the exhaust working gas for different velocities of the gases and the perfect size spoguleni bodies in a production environment silo grain dryers of the type DSP-32or. The relation of the rate of drying of grain size spoguleni bodies and potential utilization of the working gases of the second drying zones and heat loss from them. The connection sizes spoguleni bodies with an active surface of the phase-to-phase interaction and, accordingly, the value of layer-by-layer in the body uneven distribution of moisture. Theoretically justified way of reducing the uneven layering of moisture content and heat pre-heating of spoguleni bodies a minimum of moisture. Theoretically grounded and in the testing conditions proved the possibility of phase-to-phase interaction of the various gradients of moisture and temperature phase environments in which dominates the heat transfer.

## ТЕПЛОБМІН ДВОФАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ ЗА ОДНАКОВИХ ГРАДІЄНТІВ ВОЛОГИ Й ТЕМПЕРАТУРИ

**I.I. Гапонюк***Національний університет харчових технологій*

*У статті наведено результати досліджень у виробничих умовах кінетик температури і вологовмісту відпрацьованих робочих газів за різних швидкостей течії цих газів та відмінних за розміром зневоджуваних тіл. Теоретично обґрунтовано та в стендових умовах доведено можливість міжфазової взаємодії за різних градієнтів вологи і температури фазових середовищ, за яких домінує теплообмін. Отримано емпіричні рівняння нагрівання нерухомого шару вологого зерна товщиною 0,25 м робочими газами абсолютної вологості 21—23 г/кг<sub>с.п</sub> і температурою до 35° С. Доведено можливість управління інтенсивністю міжфазового вологообміну зміненням фіктивної швидкості робочих газів за різних градієнтів температури і вологи.*

**Ключові слова:** зневоднення, нагрівання, вологообмін, теплообмін градієнт.

**Постановка проблеми.** Попри надмірну енергозатратність швидкісних способів зневоднення порівняно з повільними, перші є найбільш поширеними у вітчизняній і світовій практиці. Для цього використовують різноманітні зневоднюючі агрегати, більшість із яких об'єднує використання робочим зневод-

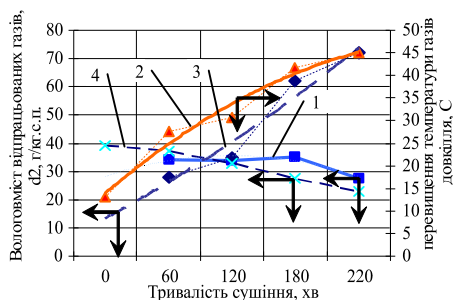
нюючим агентом робочих газів, нагрітих до заданої температури, з керованою фіктивною швидкістю проникнення крізь шар зневоднюваних тіл різних розмірів і хімічного складу. З огляду на термолабільність більшості зневоднюваних тіл температуру робочих газів обмежують термічною стійкістю перших. Технічна складність обробки відпрацьованих газів для подальшого використання їх теплоти, з одного боку, обмежує застосування існуючих енергоощадних заходів рекуперації теплоти цих газів, а з іншого — обумовлює кілька кратне перевищення витрат теплоти зневоднюючих агрегатів від розрахунково-необхідних витрат енергії для фазових перетворень вологи, що міститься в цих тілах.

**Мета дослідження:** теоретично обґрунтувати й експериментально довести можливість повторного використання теплоти відпрацьованих робочих газів підвищеного вологовмісту управлінням градієнтами вологи і теплоти фазових середовищ для умов, наближених до виробничих.

Робота виконана в два етапи: 1) дослідження параметрів відпрацьованих робочих газів за різних режимів сушіння зерна у виробничих умовах на найбільш поширеному сушильному агрегаті ДСП-32х2от; 2) теоретичне обґрунтування та дослідження у стендових умовах використання теплоти надміру зволужених відпрацьованих робочих газів із шаром зерна товщиною, що відповідає вітчизняним і закордонним зерносушильним агрегатам.

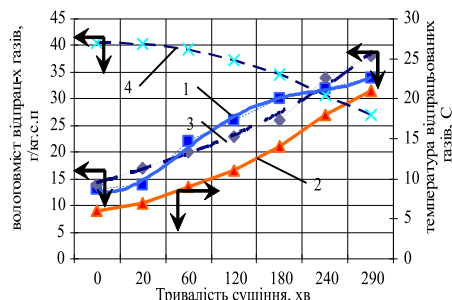
**Матеріали і методи.** Параметри фазових середовищ та умов зневоднення прийнято наближено до виробничих за товщиною шару зерна  $h = 0,22\text{—}0,35$  м, відносної вологості відпрацьованих робочих газів  $\varphi = 95\text{—}99\%$ , їх абсолютного вологовмісту  $d = 18\text{—}28$  г/кг<sub>с.п.</sub>, фіктивної швидкості газів  $v_{\text{ф}} = 0,25\text{—}0,45$  м/с

Нижче ми пропонуємо ознайомитися із результатами деяких наших досліджень у виробничих умовах. На рис. 1 і 2 представлено кінетику сушіння зерна в шахтній проточній суширці в осінню (рис. 2) та зимову (рис. 1) пори року, за паспортної (рис. 1) та уповільненої (рис. 2) швидкості робочих газів, сушіння великих за розміром зернин (усередненим діаметром тіла від  $1,2 \cdot 10^{-2}$  м — рис. 1) та невеликих (діаметром до  $2,5 \cdot 10^{-3}$  м — рис. 2).



**Рис. 1.** Зміна параметрів відпрацьованих газів в зимовий період роботи:

1 і 3 — фактичний і максимально можливий вологовміст відпрацьованих газів,  $d_{\text{ф}}$ ;  
2 — перевищення температури відпрацьованих газів над температурою дошки,  $\Delta t$ ; 4 — вологість зерна,  $W$



**Рис. 2.** Зміна параметрів відпрацьованих газів сушиarki в осінній період роботи:

1 і 3 — фактичний і максимально можливий вологовміст відпрацьованих газів,  $d_{\text{ф}}$ ;  
2 — перевищення температури відпрацьованих газів над температурою дошки,  $\Delta t$ ; 4 — вологість зерна,  $W$

Найбільша вологонасиченність відпрацьованих газів і найменша їх температура відповідають початковому етапу тепловологообміну (період сталої швид-

кості сушіння — рис. 2, або в перші 60 хв — рис.1 і 2). Ці показники для різних швидкостей робочих газів (рис.1 і 2) компенсуються різними розмірами зневоджуваних тіл. З цієї ж причини діапазони максимальних значень вологовмісту відпрацьованих газів є подібними для різних швидкостей робочих газів.

З поглибленням зони сушіння у внутрішні шари тіла зернини зменшується вміст вологи в периферійних шарах тіла зернини і, відповідно, вологовміст відпрацьованих газів зменшується, а їхня температура починає зростати. Цей період відповідає періодам сушіння на рис.1 і 2 після перших 60 хв зневоднення. Пояснення подібності кінетики сушіння цього періоду для різних швидкостей робочих газів (рис. 1 і 2) та ж, що і в попередньому випадку — в різних розмірах зневоджуваних тіл. У виробничих умовах свідомо йдуть на такі перевитрати. Більш того, з поглибленням зони сушіння в зневоджуваному тілі температуру робочих газів встановлюють за висхідними режимами сушіння. Тобто згідно з «Інструкцією по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок» температуру робочих газів із зневодненням поверхневих шарів тіла зернини додатково збільшують. А отже, зменшують потенціал використання робочих газів і збільшують перевитрати енергії сушіння. Це й доведено нижче наведеними чисельними даними експериментальних досліджень у виробничих умовах.

Проаналізуємо результати досліджень. Вологість відпрацьованих газів верхніх сушильних зон камери сушарки, як видно із рис.1, за паспортних режимів сушіння близька до максимально можливих значень на першій третині всього періоду сушіння, а із зменшенням швидкості сушіння й розмірів тіла зневоджуваної культури (рис. 2) набуває максимальних (граничних) значень майже на всьому періоді сушіння.

Фактичні показники відпрацьованих робочих газів, отримані нами при сушінні зерна різних культур і сезонів роботи сушарок, суттєво відрізняються від аналогічних показників газів довкілля. Так, вологовміст відпрацьованих газів в 4—6 разів, а температура — в 2—4 разів перевищують відповідні показники газів довкілля.

Оминаючи в даній статті спірність доцільності висхідних режимів сушіння, що обумовлюють на «узаконеному» рівні (Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна,...) перевитрати теплоти, обмежимося лише техніко-економічними суперечностями існуючих способів рекуперації теплоти відпрацьованих газів і способів їх розв'язання. Більшість відомих способів можна звести до трьох груп: використання теплоти відпрацьованих газів без їх спеціальної обробки, із спеціальною обробкою в теплообмінних і вакуумних насосах. Окремо виділяють спосіб застосування різноманітних пароконденсаторів. Технологічну доцільність повторного використання теплоти необроблених відпрацьованих робочих газів зі спрямуванням їх в тепло-вологообмінну камеру або топкове відділення детально аргументовано в ряді публікацій [4; 5]. Так, проведені авторами цих публікацій розрахунки волого-теплогового балансу сушіння зерна шахтних зерносушарок доводять, що починаючи вже з третього-четвертого циклу повернення відпрацьованих робочих газів, а для роботи сушарок в осінньо-зимовий період — після другого- третього, суттєво погіршується паспортний режим вологообміну. Ці порушення супроводжуються суттєвим зменшенням продуктивності сушильного агрегата і навіть призупиненням міжфазового вологообміну за винятком лише міжфазового теплообміну. Тобто в кращому

випадку сушіння зерна в літню пору року вже після четвертого циклу рекуперації теплоти відпрацьованих робочих газів у камеру сушарки процеси зневоднення припиняться й обмежаться лише його теплообміном, а в зимову — через третій, а то й другий цикл. Отже, використання теплоти відпрацьованих робочих газів із підвищеним вологовмістом ( $d_2 > 25\text{—}30$  г/кг<sub>с.п.</sub>) поверненням їх в тепловологообмінну камеру або топкове відділення без спеціальної їх подробики (зневоднення) недоцільне, за винятком використання їх лише для технологічних потреб управління структурно-механічними властивостями зневоджуваного матеріалу [1; 5; 6].

З огляду на це нами були виконано другий етап досліджень із встановлення можливості використання теплоти відпрацьованих газів без їх спеціальної обробки з метою лише попереднього нагрівання вологого зерна перед його спрямуванням у сушильну камеру сушарки.

Для зменшення ризику зволоження зневоджуваних матеріалів нам потрібно обґрунтувати такі параметри міжфазової взаємодії малорухомого шару вологого зерна з робочими газами підвищеного вологовмісту, за яких максимально відбувається міжфазовий теплообмін і мінімально — вологообмін. Тобто для умов конвективного тепловологообміну вологого зерна ( $\theta_0, W_0$ ) з відпрацьованими робочими газами ( $t_2, d_2$ ), зміненням енергії вологи в поверхневому шарі ( $I_{n.ш.}$ ) та на поверхні тіла зернини ( $I_{n.з.}$ ), підведеною теплотою ( $Q_2$ ) й швидкістю течії робочих газів ( $v_2$ ) доведено можливість управляти градієнтом вологи фазових середовищ навіть за умов, коли рівноважена вологість газів фазових середовищ перевищує вологість зернин. А це відповідає умовам початкового етапу тепло- і вологообміну фазових середовищ.

Результати виконаних нами теоретичних досліджень та експериментів (див. табл) дали змогу виявити деякі розбіжності відомих теоретичних положень міжфазового вологообміну від прикладних досліджень, що стосуються нерухомих і рухомих фазових середовищ.

Подальші прикладні дослідження міжфазової взаємодії для рухомих середовищ доводять, що при значній відмінності температур цих різних за станом рухомості фазових середовищ, незначній відмінності їх від рівно вагового вологовмісту [ $\delta t = (t_2 - \theta_0) \gg 0$ ,  $\delta W = (W_0 - W_{ривн}) \leq 0$ ] та за зустрічних градієнтів температури й вологи, — домінуючим на дифузію вологи є вплив лише енергетичного стану вологи поверхневих шарів тіла зернини [2; 4; 6]. Тобто градієнт температури меншою мірою впливає на напрямок дифузії вологи від градієнта енергетичного стану вологи (як і енергія парціальних тисків вологи).

Таблиця. Вплив параметрів газів на тепловологообмінні процеси зерна

Тривалість взаємодії, $\tau$ , хв	Параметри газів				Параметри зерна					Баланс теплоти, кДж/кг:		
	$t_2, ^\circ\text{C}$	$d_2, \text{г/м}^3$	$\varphi_2, \%$	$v_2, \text{м/с}$	$\theta_{\text{серед.шару}}$	$\delta\theta$	$W_{\text{факт}}$	$\delta W_{\text{факт}}$	$W_{\text{розра}}$	$\delta Q_{\text{об}}$ нагрівання зерна	$\delta Q_{\text{суш}}$ сушіння зерна	$\delta Q = \delta Q_{\text{об}} - \delta Q_{\text{суш}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	28	22,5	100	1,7	6	0	20	0	20	74,8	24,9	50
1	28	22,5	100	1,7	23	17	20,6	0,6	21,2			
2,0	28	22,5	100	1,7	27	21	20,9	0,9	21,4			

Продовження табл.

3	28	22,5	100	1,7	28	22	21,0	1,0	21,4			
5	28	22,5	100	1,7	28	22	21,0	1,0	21,4			
0	26	20,5	100	1,7	10	0	22,5	0	22,5	47,6	20,0	27,6
1	26	20,5	100	1,7	16	6	22,8	0,3	23,0			
2	26	20,5	100	1,7	21	11	23,1	0,6	23,2			
3	26	20,5	100	1,7	24	14	23,2	0,7	23,5			
4	26	20,5	100	1,7	24	14	23,3	0,8	23,6			
0	27	21	100	4,3	11	0	22,5	0	22,5	54,4	25,2	29
1	27	21	100	4,3	23	12	22,9	0,4	24,8			
3	27	21	100	4,3	25	14	23,2	0,7	26,0			
5	27	21	100	4,3	27	16	23,4	0,9	26,7			
7	—	—	—	—	27	16	23,5	1,0	—			
0	28	22	100	4,3	11	0	25	0	25	40,8	20,1	21
1	28	22	100	4,3	23	12	25,3	0,3	27,5			
2	28	22	100	4,3	25	14	25,6	0,6	28,3			
3	28	22	100	4,3	27	16	25,7	0,7	28,8			
4	28	22	100	4,3	28	17	25,7	0,7	29,0			
6	—	—	—	—	28	17	25,8	0,8	—			
0	28	22,5	100	4,3	17	0	17,5	0	17,5	34,0	12,2	22
2	28	22,5	100	4,3	26	9	17,8	0,3	21,0			
5	28	22,5	100	4,3	27,5	10,5	17,9	0,4	22,1			
8	28	22,5	100	4,3	28	11	18,0	0,5	22,7			

Оскільки вже на початковому етапі міжфазової взаємодії з надміру зволуженими газами та суттєвого зменшення витрат енергії цих газів на зневоднення зерна, температура шару зерна стрімко зростає ( $\Theta_1$ ), а отже, зростає енергетичний стан вологи в поверхневих шарах тіла зернини ( $\Theta_W$ ) й одночасно з цим додатково зростає рушійний потенціал зневоднення зерна ( $\Delta E_W$ ). Цей додатковий потенціал зневоднення зерна протидіє його зволоженню відпрацьованими робочими газами навіть за умов перевищення рівноважної вологи над вологістю зерна.

**Результати досліджень.** Перевірку викладених припущень та уточнення кінетики тепло- і вологообміну міжфазових середовищ газами підвищеного вологовмісту параметрами, близькими до відпрацьованих робочих газів зерносушильного агрегата, було виконано на стендовій установці для різних товщини шару зерна й фіктивної швидкості робочих газів.

У ході досліджень змінювали показники параметрів робочих газів (температуру  $t_0$  (°C), вологовміст  $d_0$  (г/кг<sub>с.п.</sub>) і швидкість течії перед шаром зерна  $v_2$  і після  $v_3$  (м/с)) для перемінних значень вологості зневоджуваного зерна  $W_i$  (%) і початкової його температури  $\Theta_i$  (°C).

Вологовміст робочих газів  $d_2$  (г/кг<sub>с.п.</sub>) задавали для граничних умов міжфазового тепловологообміну, тобто встановлювали більшим на 20...30% від отриманих у виробничих дослідженнях значень для шахтних прямотечійних зерносушарок.

Дослідами встановлено, що зі збільшенням вологовмісту робочих газів від 6...10 г/кг<sub>с.п.</sub> (гази перед сушінням) до граничного вологовмісту за температури  $t_2 = 22...28^\circ \text{C}$  —  $d_2 = 20,5...22,5$  г/кг<sub>с.п.</sub>, швидкість нагрівання зерна пшениці зростала у 8...11 разів, порівняно з традиційними способами нагрівання робочими газами температурою  $t_1 = 80...110^\circ \text{C}$  й вологовмісту  $d_1 = 6,5...10,5$  г/кг<sub>с.п.</sub>, та досягала своїх максимальних значень  $d\theta/d\tau = 4,5...6,5$  (°C/хв). Більші значення

швидкості нагрівання шару зерна відповідали умовам більшої різниці температури фазових середовищ і більшої швидкості течії газів.

Оскільки робочі газы, пронизуючи шар зерна охолоджувалися і їх вологопоглинаюча спроможність, відповідно, зменшувалася, то для часткового запобігання конденсації вологи на поверхні віддалених від вхідного перетину надходження цих газів шарів зерна (тобто набуття умов  $\varphi_2 \geq 100\%$ ) збільшували швидкість течії цих газів і змінювали градієнт тиску «під нагнітанням» на «під розрідженням». Для цього встановлювали повітродувну машину після тепловологообмінної камери з регулюючим пристроєм енергії течії  $H_d = 0,0—1,5$  кПа.

Розрахункове значення кінцевої вологості нагрітого в теплообмінній камері зерна ( $W_p$ ) встановлювали за масі конденсату  $\delta W_{\text{конд}}$  ( $W_p = W_0 + \delta W_{\text{конд}}$ ) та зіставляли з даними, отриманими стандартним способом у сушильній шафі. Кількість конденсату  $\delta W_{\text{конд}}$  встановлювали за добутком різниці вологовмісту газів перед шаром зерна  $t_2$  ( $d_t$ ) для фактичних витрат робочих газів  $L$  ( $\text{м}^3/\text{хв}$ ):

$$M_{\text{конд}} = (d_t - d_0) \cdot L \cdot \tau. \quad (1)$$

За умов перевищення рівновагової вологості й температури робочих газів над відповідними параметрами зерна ( $W_p > W_0$ ,  $t_2 > \theta_i$ ) кінцева вологість зерна  $W_2$  зростала на величину сорбованої вологи із насичених вологою газів  $\delta W_{\text{сорб}}$  та конденсату на поверхні зерна  $\delta W_{\text{конденс}}$  ( $W_2 = \delta W_{\text{сорб}} + \delta W_{\text{конденс}}$ ). За показниками вологовмісту газів ( $d_t$ ), температури зерна ( $\theta$ ) та шкали рівноважної вологості [1; 4; 6—8] можна встановити градієнт вологи. Майже на всьому проміжку зростання температури зерна  $\theta_i$  ( $6^\circ \text{C} < \theta < 28^\circ \text{C}$ ) рівноважна вологість перевищувала вологість зерна. Проте, як видно з результатів досліджень, фактична вологість зерна була значно меншою від розрахункової на величину  $\delta W_{\text{сорб}}$  та частки  $\delta W_{\text{конденс}}$  і зі змінням способу підведення газів та збільшенням швидкості течії робочих газів фактична вологість зерна ще більше зменшувалась.

На рис. 3 представлено динаміку температури зерна пшениці при міжфазовій взаємодії із теплішими газами підвищеної вологості ( $\varphi_2 \approx 100\%$  та  $d_2 = 20—21$  г/м<sup>3</sup>,  $t_2 = 26—28^\circ \text{C}$ ). Отримана динаміка розрахункової та фактичної вологості зерна пшениці при міжфазовій взаємодії з надміру зволуженими газами ( $t_2 = 26—28^\circ \text{C}$ ,  $\varphi_2 \approx 100\%$ ,  $d_2 = 20—21$  г/м<sup>3</sup>) підтверджує можливість зменшення вологи шару зерна на 2—6% порівняно з розрахунковими даними. З подальшим збільшенням швидкості течії газів у 2,5 раза фактична вологість зменшується ще суттєвіше — на 11...14%.

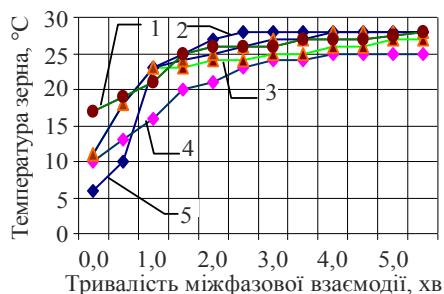


Рис. 3. Динаміка температури зерна за різних значень  $W_0$  і  $\Theta_0$ :

1 —  $W_0 = 17,5\%$ ; 2 —  $W_0 = 25\%$ ; 3 —  $W_0 = 25\%$ ; 4 —  $W_0 = 22,5\%$ ; 5 —  $W_0 = 20\%$

Оскільки остаточною оцінкою доцільності заходу з модернізації технології (процесу) є економічна доцільність [2], то нижче пропонуємо аналіз витрат енергії при міжфазовій взаємодії зерна з робочими газами для параметрів фазових середовищ, наближених до виробничих. Найбільш характерними для літнього періоду роботи сушарок є параметри відпрацьованих газів з температурою  $t_2 \leq 50^\circ \text{C}$  та вологістю  $\varphi_2 \approx 90\%$  верхньої сушильної зони і  $\varphi_2 \approx 55 \dots 65\%$  — нижньої [3—5].

З урахуванням конструктивних особливостей шахтних зерносушарок і газопроводів з підведення відпрацьованих газів для повторного використання їх теплоти, втрати теплоти можуть становити від 7% [3] до 15% [1; 2; 4; 6]. Для наведених нижче розрахунків економічної доцільності використання теплоти цих газів прийємо граничні, найнесприятливіші для рекуперації теплоти, умови. Тобто умови з найменшою температурою відпрацьованих газів і максимально-можливою відносною їх вологістю, що відповідають параметрам роботи кращих зразків імпортованих зерносушарок або модернізованих вітчизняних в осінню пору року: температуру відпрацьованих газів перед шаром зневоджуваного зерна прийємо  $t_2 \leq 30^\circ \text{C}$ , відносну вологість відпрацьованих газів, з урахуванням найінтенсивнішого вологообміну та зменшення їх температури при транспортуванні, прийємо  $\varphi_2 \approx 99\%$ , із відповідним вологовмістом  $d_2 = 20 \dots 21 \text{ г/м}^3$ .

Температура зерна зібраного урожаю впродовж доби може змінюватися в широкому діапазоні  $\theta_0 = 5 \text{—} 20^\circ \text{C}$ , а вологість  $W_0 = 15 \text{—} 30\%$ .

При нагріванні вологого зерна відпрацьованими газами його температура не може перевищувати температуру теплоносія ( $\theta_1 \leq t_2$ ,  $\theta_1 \approx 28^\circ \text{C}$ ) і за несприятливих умов зерно може додатково зволожитися на  $\delta W = 0,5 \text{—} 1,5\%$ .

Витрати теплоти  $Q_{\delta\theta}$  для нагрівання зерна до температури відпрацьованих газів становлять [1; 2—4; 6]:

$$Q_{\delta\theta} = G \cdot c_0 \cdot (\theta_1 - \theta_0), \quad (2)$$

де  $G$  — маса зерна, кг;  $c_0$  — питома теплоємність зерна при вологості  $W_0$ , кДж/(кг·К);  $\theta_0$  і  $\theta_1$  — кінцева та початкова температура зерна,  $^\circ\text{C}$ .

Витрати теплоти на зневоднення додаткової вологи зерна, що може потрапити в шар зерна з відпрацьованими газами під час його нагрівання можна розрахувати за формулою [1; 2—4; 6]:

$$Q_{\delta W} = \delta W \cdot (r + \Delta r), \quad (3)$$

де  $r$  — схована теплота пароутворення при температурі зерна  $\theta_1$ , кДж/кг<sub>вол.</sub>;  $\Delta r$  — питома теплота на подолання внутрішнього опору дифузії вологи, кДж/кг<sub>вол.</sub>;  $\delta W$  — кількість вологи висушеної із зерна, кг.

За виконаними розрахунками вказаного способу нагрівання зерна пшениці відносною вологістю  $W_0 = 17,5 \text{—} 20\%$  і температури  $\theta_0 = 16 \text{—} 17^\circ \text{C}$  робочими газами з вологовмістом  $d_2 = 20,5 \text{—} 22,5 \text{ г/м}^3$  і температурою  $t_2 = 28^\circ \text{C}$ , економія теплоти становить:

$$\delta Q = Q_{\delta\theta} - Q_{\delta W} = 13 \dots 20 \text{ (кДж/кг}_{\text{зерна}}).$$

У перерахунку на природний газ, що використовують вітчизняні зернозаготівельні підприємства, для однієї тонни зерна економія теплоти становить  $0,45 \text{—} 0,66 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Крім цього, десятикратне зростання швидкості нагрівання вологого шару зерна перед його зневодненням не лише прискорить внутрішню капілярну дифузію

вологи й вирівняє пошарову в тілі зернини неоднорідність вологовмісту, а й зменшить ризик пошарового в зернині перегрівання термолабільних складових.

Очевидно, що з підвищенням вологості зерна ( $W_0$ ), зростанням температури відпрацьованих газів ( $t_2$ ) і використанням менш досконалих зерносушарок, технологічна доцільність та економічна ефективність попереднього нагрівання вологого шару зерна зростатимуть.

Наведені розрахунки експериментальних досліджень доводять, що за певних умов міжфазової взаємодії (значень швидкості робочих газів, стану рухомості шару зерна та перевищенні температури цих газів  $t_2$  температури зерна  $\theta_0$ ) температура шару зерна достатньо швидко зрівнюється із температурою робочих газів (впродовж 3...8 хв).

### **Висновки.**

1. Витрати теплоти сушіння зерна в зерносушільних агрегатах вітчизняного та закордонного виробництва перевищують розрахунково-необхідні з фазових перетворень вологи в 1,5—3,5 раза.

2. Найбільша частка втрат теплоти зерносушільних агрегатів припадає на відпрацьовані робочі гази і може перевищувати витрати фазових перетворень вологи зневоджуваного тіла.

3. Високий вологовміст відпрацьованих робочих газів ( $d_2 = 25...45 \text{ г/м}^3$ ), за відомими рішеннями, обмежує технологічну доцільність їх використання без спеціальної підготовки та потребує складних конструкцій з їх використання.

4. Науково-обґрунтованими режимами міжфазової взаємодії доведено можливість нагріти теплотою відпрацьованих газів вологе зерно перед його зневодненням на більш як на  $50^\circ\text{C}$  без спеціальної їх обробки.

5. Швидкість нагрівання шару вологого зерна газами підвищеного вологовмісту ( $d_2 = 20,5—22,5 \text{ г/м}^3$ ) і температури, близької до виробничих умов ( $t_2 = 30—40^\circ\text{C}$ ), у 8—11 разів більша від цього ж показника невідпрацьованими робочими газами значно вищої температури ( $d_0 = 8,5—9,5 \text{ г/м}^3$ ,  $t_1 = 90—110^\circ\text{C}$ ).

6. Явище термовологопереміщення, встановлене Ликовим для різних масоємних капілярно-пористих тіл, нами не підтверджено для одних і тих же масоємних капілярно-пористих колоїдних тіл у стендових умовах для широкого діапазону перемінних параметрів фазових середовищ. Тобто за зустрічних градієнтів температури і вологи фазових середовищ домінує енергетичний стан вологи. Це обумовлює змінення режимів сушіння.

7. Зміненням градієнта тиску робочих газів у зневоджувальній камері, збільшенням швидкості їх течії й стану рухомості шару зерна можна суттєво зменшити ризик конденсації крапельної вологи на поверхню шару зерна.

8. Експериментально доведено можливість використання теплоти відпрацьованих робочих газів із граничною відносною вологістю ( $\varphi_2 \approx 97—99\%$ ) і технологічний спосіб та режими міжфазового тепло-вологодобміну, за яких технологічно доцільно нагрівати вологе зерно перед його зневодненням.

9. Доведено технологічну можливість та економічну доцільність міжфазового теплообміну шару зерна із відпрацьованими робочими газами зерносушільних агрегатів.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Останчук М.В.* Наукові основи процесів зберігання зерна // Наукові праці ОНАХТ. — 2008. — Вип. 29, Т. 2. — С. 58—62.



2. Гапонюк І.І. Вплив параметрів довкілля на сушіння зерна // Ukrainian Food Journal. — 2013 — Volume 2, Issue 3. — С. 337—346.
3. Гапонюк І.І. Вітчизняні зерносушарки: стан та перспектива // Хранение и переработка зерна. — 2014. — № 2(179) — С. 25—29.
4. Василенко С.М. Теплообмін у плівкових течіях у роторно-плівкових апаратах із роторами спірального типу / С.М. Василенко, Т.О. Вашук, В.І. Бондар, В.В.Шутюк, С.М. Самійленко // Харч. пром-сть. — 2009. — № 8. — С. 103—108.
5. Свідерська О.І. Особливості процесу сушіння пивної дробини / О.І. Свідерська, В.Л. Яровий // Харч. пром-сть. — 2004. — № 3. — С. 118—121.
6. Magdalena Zielinska Superheated steam drying characteristic and moisture diffusivity of distillers' wet grains and condensed distillers' solubles Original Research / Magdalena Zielinska, Stefan Cenkowski // Journal of Food Engineering. — April 2012. — Volume 109, Issue 3. — P. 627—634.

## ТЕПЛООБМЕН ДВУХФАЗНЫХ СРЕД ПРИ ОДИНАКОВЫХ ГРАДИЕНТАХ ВЛАГИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

**И.И. Гапонюк**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье приведены результаты исследований в производственных условиях кинетик температуры и влагосодержания отработанных рабочих газов при разных скоростях течения этих газов и отличных по размеру обезвоженных тел. Теоретически обоснована и в стендовых условиях доказана возможность использования межфазного взаимодействия при различных градиентах влаги и температуры фазовых сред, при которых доминирует теплообмен. Получены эмпирические уравнения нагрева неподвижного слоя влажного зерна толщиной 0,25 м рабочими газами влагосодержания 25—28 г/кгс.в и температурой до 35° С. Доказана возможность управления интенсивностью межфазного влагообмена изменением фиктивной скорости рабочих газов при различных градиентах температуры и влаги.*

**Ключевые слова:** обезвоживание, нагрев, влагообмен, теплообмен, градиент.

## STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN THE ECONOMIC CRISIS

**N. Zhuzhukina**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

structural reforms  
monopoly economy,  
extractive model of  
inclusive economy

**Article history:**

Received 24.05.2017  
Received in revised form  
10.09.2017  
Accepted 25.10.2017

**Corresponding author:**

zhuzhukina@ukr.net

---

**ABSTRACT**

In the article on the basis of a systematic analysis of the main directions and trends of structural reforms in the areas of production, exchange and consumption. Designated destructive changes in these areas and the reasons for their occurrence. The ways of solving the existing problem of monopolization of production sphere and the sphere of exchange. The analysis confirms the classic formula — monopolization of production and exchange, forms a pattern of decline for private property provides development only if the combination of competition and entrepreneurship. Monopoly private property supported by public authorities leads to the fact that income is not provided in business and rent a monopoly ownership of resources. The result is blocking innovation development opportunity corrupt judiciary, unfair distribution of added value.

The processes in our country and other countries show that the transition to a competitive, transparent economic model is possible on condition of formation of the state of civil society, where individual groups, not just oligarchs be clear about their economic interests.

---

## СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОЇ КРИЗИ

**Н.І. Жужукіна**

*Національний університет харчових технологій*

*У статті на основі методу системного аналізу проаналізовано основні напрями й тенденції структурних перетворень у сферах виробництва, обміну та споживання. Визначено деструктивні зрушення в цих сферах та причини їх виникнення. Запропоновано шляхи вирішення існуючої проблеми монополізації виробничої сфери та сфери обміну.*

**Ключові слова:** *структурні реформи, монопольна економіка, екстрактивна модель, інклюзивна модель економіки.*

**Постановка проблеми.** Необхідність структурних реформ декларувалась із самого початку переходу на шлях незалежного розвитку, що, вочевидь, було обумовлено процесом переходу від структурованої всезагальної державної форми власності, відтворення якої підтримувалось адміністративно-централізованими методами, до системи економічних відносин, які ґрунтувались на різноманітних формах власності. Перетворення державних форм виробництва у

власність різних економічних суб'єктів передбачалось реалізовувати шляхом руйнування державно-монополістичної структури і становленням ринкової структури, а саме: приватної власності, конкурентного середовища, комерційної банківської системи, фондового ринку, господарського права, яке б захистило приватну форму власності. Всі ці перетворення повинні були забезпечити стабілізацію та подальший розвиток економіки країни. Певні дослідження на шляху побудови ринкової економічної моделі за минулі, з того часу, роки в Україні, звичайно, проводилися. Фактично ринкові інститути були збудовані, але ефективного стабільного розвитку, в повному розумінні цього явища, так і не було забезпечено.

**Мета статті:** проаналізувати результати проведених структурних реформ та визначити напрями подальшого реструктурування економіки країни.

**Викладення основного матеріалу.** Останнім часом навіть сам термін «структурні реформи» починають сприймати скептично, як певні маніпулятивні інтелектуальні ігри. І дійсно, без чіткого визначення об'єктів структурування й аналізу наслідків цих перетворень це нагадує зручне формулювання якогось загального процесу реформування, коли на вічне питання «що робити?» відповідають «структурні реформи».

Об'єкти структурних перетворень знаходяться в основних блоках процесу макроекономічного відтворення: виробництво—обмін—споживання. Саме пропорційна скоординованість цих процесів та якість інститутів, які забезпечують їх функціонування зводять до мінімуму конфлікти та забезпечують розвиток, тоді як погано структурована система ускладнена бюрократичними обмеженнями, в ній домінує «дикий капіталізм», позначений корупцією.

Введення інституту приватної власності не гарантує обов'язкову побудову капіталізму. Можна побудувати менш розвинуту формацію — феодалізм: протекціоністський доступ до ресурсів (суверен дає право доступу приближеному колу васалів); рентна економіка, коли маємо зиск тільки від самого права на ресурс і, як наслідок, маємо низьку додатну вартість і відсутність підприємницької діяльності. Саме таку консервацію виробничої діяльності ми і отримали, коли монополію держави, при плавно-розподільчій моделі виробництва, змінили на монопольно-олігархічну модель виробничої діяльності. При цьому рівень монополізації діяльності сфери виробництва тільки підсилюється, тому що суттєве зменшення ВВП, відповідно, звужує можливості його переструктурування на користь широкого кола господарюючих суб'єктів. У цих умовах великий бізнес, який переважно контролює сфери виробництва сировинного напрямку, або першого чи другого рівня переробки (метал, вугілля, сільське господарство) намагається штучно втримати ренту на рівні 18-20% за рахунок підвищення тарифів населенню та податків на малий і середній бізнес. При ренті нижче 12% не забезпечується консенсус інтересів між владою та олігархами з формування надходжень у бюджет. Фактично власність на капітал не дає достатнього збагачення, а потребує підприємницької діяльності та переходу від ренти до рентабельності. Внаслідок цього не тільки звужуються можливості доступу до виробничої діяльності нових суб'єктів господарювання, вони виштовхуються існуючими суб'єктами малого та середнього бізнесу, що значно погіршує структуру зайнятості у виробничій сфері.

Монопольна структура виробництва погіршується і монопольною одноосібною формою власності на капітал. Акціонерні форми не знайшли відповідного

розвитку, бо, як правило, це приватні компанії, що зменшують кількість фізичних осіб, які мають доступ до розподілу доданої вартості та більшості ресурсів країни. Такі структурні перетворення у виробничій сфері блокують конкурентну, транспарентну економіку та створюють її екстрактивну, а не інклюзивну модель, погіршують доступ до ресурсів сучасним напрямом діяльності: ІТ-технологіям, робототехніці тощо.

Аналіз структури перетворень сфери обміну теж засвідчує, що поява нових ринкових інститутів не забезпечила її якості. Стихійне та хаотичне формування комерційних банків призвело до створення банків-кредиторів бізнесу виключно їх засновників, або банків для виводу капіталів, що не забезпечує створення інвестиційного ресурсу розвитку країни. Фондовий ринок так і залишився нерозвинутим навіть інституційно. При цьому має місце асиметричний доступ до інформації та відсутність захисту від використання інсайдерської інформації.

Визначення структурних передумов конкуренції на внутрішньому ринку країни потребує визначення співвідношення сукупних часток підприємств, що діють на ринках з різною конкурентною структурою, у загальному обсязі реалізованої продукції. За даними Н.В. Бутенко, в Україні 49,2% продукції припадає на ринки з конкурентною ознакою, 17,7% — олігопольні ринки, 25,9% — з ознаками домінування, 7,2% — монополізовані ринки. Таке співвідношення конкурентного і монопольного секторів, що має місце зараз в Україні, було характерним для економіки індустріальних країн середини минулого століття. У сучасній постіндустріальній економіці найбільш розвинутих країн за умов значної конкуренції створюється понад 80%, загального обсягу товарів, а за відсутності конкуренції — не більше 20% [3—5].

Інтеграція до світового ринку відбувається шляхом експорту сировини й товарів з низькою доданою вартістю та імпортом високотехнічних товарів, що погіршує структуру торговельного балансу. Ресурсна модель експорту завершує свою ефективність на світових ринках і не може розглядатися як тригер економіки України [1; 2].

Ємкість внутрішнього ринку погіршується і негативними тенденціями в переформуванні сфери споживання. Зниження рівня реальних доходів населення призводить до зниження купівельної спроможності та використання доходів фактично тільки на їжу та комунальні виплати. Значно знизилась витрати на різні послуги, одяг, придбання житла, машин, побутової техніки, що, у свою чергу, погіршує можливості розвитку реального сектору економіки.

**Висновки.** Проведений аналіз підтверджує класичну формулу — монополізація виробництва та обміну формує модель занепаду, бо приватна власність забезпечує розвиток тільки за умови поєднання її з конкуренцією та підприємництвом. Монопольна приватна власність, підтримана державною владою, призводить до того, що дохід забезпечується не підприємницькою діяльністю, а рентою на монопольне володіння ресурсом. Наслідком цього є блокування інноваційного розвитку, можливість корумпування судової системи, несправедливий розподіл доданої вартості.

Процеси в нашій країні та інших країнах світу засвідчують, що перехід до конкурентної, транспарентної економічної моделі можливий при умові формування такого стану громадянського суспільства, коли окремі групи населення, а не тільки олігархат, будуть чітко усвідомлювати свої економічні інтереси і, відповідно готові, до участі в економічній діяльності своїх регіонів через громадські

організації, доступу до інформації і контролю за витратами місцевих коштів, що повністю реально в умовах ІТ-технологій.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Баранова В. Новый кризис добьёт сырьевые страны / В. Баранова // Власть денег. — 2015. — № 9. — С. 14—15.
2. Бейбу Д. Глобальна продовольча криза: новий виклик на життєздатність сільськогосподарства [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://soskin.info/ea/2009/3-4/200914.htm>.
3. Бутенко Н.В. Антимонопольна політика у сфері регулювання партнерських відносин / Н.В. Бутенко // Проблеми економіки. — 2015. — № 2. — С. 26—32.
4. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
5. Уманців Ю.М. Конкурентна політика у системі чинників активізації економічного розвитку / Ю.М. Уманців, А.С. Дуцька // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського — № 1(3). — С. 29—37.

## **СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

**Н.И. Жужукина**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье на основе метода системного анализа проанализированы основные направления и тенденции структурных преобразований в сферах производства, обмена и потребления. Определены деструктивные сдвиги в этих сферах и причины их возникновения. Предложены пути решения существующей проблемы монополизации производственной сферы и сферы обмена.*

**Ключевые слова:** *структурные реформы, монополия экономика, экстрактивные модель, инклюзивная модель экономики.*

## 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.

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, котрим 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 публіковані раніше статті, що містять результати фундаментальних теоретичних розробок та найзначніших прикладних досліджень викладачів, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів. Всі 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** роздруківок 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, мета досліджень, матеріали та методи, результати досліджень, висновки. Кожен з наведених розділів статті починається з нового абзацу («**Постановка проблеми**», «**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 ГОСТ 7.1—84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления» та вимогами ВАК України. У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на роботи останніх років.

Прізвища зарубіжних авторів у тексті статті треба наводити в українській транскрипції.

Після списку літератури наводяться: анотація та ключові слова російською мовою; ініціали і прізвища авторів, назва статті великими напівжирними літерами, анотація та ключові слова

(Summary) англійською мовою (розмір анотації не менше 1800 знаків, має містити коротку інформацію по кожному із основних змістових розділів); фрази «**Ключевые слова**» та «**Key words**» — напівжирним шрифтом.

Усі анотації мають містити коротку інформацію щодо об'єкта та методик досліджень з наведенням основних результатів роботи та рекомендаціями щодо сфери їх застосування.

Після тексту анотацій та ключових слів наводиться фраза «Одержана редколегією (дата)» (набраним світлим курсивом). За дату одержання статті вважають дату надходження її до редакції.

Роздрукований варіант статті підписують усі автори.

У разі одержання статті, оформленої з порушенням запропонованих вимог, редакція статтю не реєструє. За необхідності доопрацювання статті відповідно до зауважень рецензента авторам направляється екземпляр рукопису, який разом із рецензією, відповідно рецензентові, двома екземплярами виправленої статті та електронним носієм з виправленим текстом слід повернути до редакції.

Таблиці виконувати у Microsoft Office Word в форматі DOC. Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Якщо таблиця одна, то дається тільки заголовок (без слова «Таблиця»). Слово «Таблиця» і номер — курсивним шрифтом, заголовок — напівжирним. Таблиці мають бути закритими — з боковими, нижньою і горизонтальними лініями у полі таблиці.

Ілюстрації мають бути виконані ретельно, в програмі CorelDraw або будь-якому іншому графічному редакторі, на білому папері й розміщені в тексті та в окремих файлах (формати CDR, TIF, JPG; роздільна здатність не менше 300 dpi).

Фотографії друкуються лише у разі крайньої потреби, вони мають бути чіткими, контрастними, виконаними на білому фотопапері, розмірами 6×9 см.

Підписи до рисунків набираються на окремій сторінці або безпосередньо під рисунками прямим шрифтом.

Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях і на рисунках не допускаються.

Формули вставляються прямо в текст за допомогою редактора формул. Нумерація формул — арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки.

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](mailto:tmipt_xp@ukr.net)**

Наукове видання

# ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№ 22

Журнал «Харчова промисловість» затверджений наказом МОН України (постанова № 241 від 09.03.2016) як наукове видання з технічних наук.  
Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 6890 від 23.01.2003  
Засновник і видавець: Національний університет харчових технологій

Журнал є продовженням міжвідомчого тематичного збірника «Харчова промисловість», заснованого в 1965 р. Виходить двічі на рік

***Статті друкуються в авторській редакції.***

***Відповідальний редактор журналу: А.І. Соколенко***

***Відповідальний секретар: С.В. Токарчук***

Комп'ютерна верстка: А.В. Стамбол

Підп. до друку 05.09.2016 р. Формат 70 × 100/16.  
Гарнітура TimesNewRoman. Друк цифровий.  
Ум. друк. арк. 11,45. Обл.-вид. арк. 12,32.  
Наклад 100 прим. Вид. № 07/16. Зам. № 23-16

НУХТ 01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.2004