

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ВІСНИК  
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Випуск 207**

**“Сучасні напрямки технології та  
механізації процесів переробних  
і харчових виробництв”**

**Харків 2019**

**УДК 664: 0025: 631. 563**

**Редакційна колегія:**

Професор, к.т.н. Нанка О.В. (відповідальний редактор)  
Професор, д.т.н. Мельник В.І. (заст. відповідального редактора)  
Професор, д.т.н. Богомолів О.В. (відповідальний секретар)  
Член-кор. НААНУ, професор, к.т.н. Мазоренко Д.І.  
Професор, д.т.н. Лебедєв А.Т.  
Професор, д.т.н. Завгородній О.І.  
Професор, д.т.н. Козаченко О.В.  
Професор, д.т.н. Шаніна О.М.  
Професор, д.т.н. Спольнік О.І.  
Професор, д.т.н. Пастухов В.І.  
Професор, д.т.н. Ольшанський В.П.  
Професор, к.с.-г.н. Машкін М.І.

Наукове видання  
ВІСНИК ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА  
Випуск 207  
“СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕХАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ  
ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ”

У збірник включені наукові праці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, ведучих вищих навчальних закладів, науково-дослідних інститутів і підприємств України, в яких відображені результати теоретичних та експериментальних досліджень в галузі переробки та зберігання сільськогосподарської продукції

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серія КВ №15983-4455ПР

Друкується за рішенням Вченої ради ХНТУСГ ім. Петра Василенка  
26.09.2019 р., протокол № 1

Вісник включений у перелік фахових  
видань ВАК України

© Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка  
2019 р.

## АНОТАЦІЯ

До вісника Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, випуск 207 “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв” включені статті, в яких наведені результати науково-дослідних робіт, проведених в університеті, а також в інших учбових закладах, науково-дослідних, дослідно-конструкторських та виробничих підприємствах, що працюють над проблемами в переробних та харчових галузях як України, так і за її межами.

Тематика статей цього вісника висвітлює напрямки удосконалення обладнання та технологій в переробній та харчовій галузях. В переважній більшості статей висвітлені результати теоретичних та експериментальних досліджень.

Вісник представляє інтерес для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, студентів інженерно-технічних факультетів вищих навчальних закладів, фахівців переробної та харчової промисловості агропромислового комплексу.

## АННОТАЦИЯ

Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко, выпуск 207 “Современные направления технологии и механизации процессов перерабатывающих и пищевых производств” включает статьи, в которых приведены результаты научно-исследовательских работ, проведенных в университете, а также в других учебных заведениях, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных предприятиях, работающих над проблемами в перерабатывающих и пищевых отраслях как Украины, так и за рубежом.

Тематика статей этого выпуска освещает направление усовершенствования оборудования и технологий в перерабатывающей и пищевой отраслях. В подавляющем большинстве статей освещены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Вестник представляет интерес для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов инженерно-технических факультетов высших учебных заведений, специалистов перерабатывающей и пищевой промышленности агропромышленного комплекса.

## **THE SUMMARY**

The bulletin of Kharkiv State Technical university of Agriculture name Peter Vasilenko, release 207 "Modern problems of processing and food industries technology and mechanization" includes articles, in which the results of the research works which have been carried out at the university, and also in other educational, research and industrial enterprises working on problems in processing and food branches in Ukraine and abroad are given.

The subjects of articles of this release cover an issue of improvement of technologies of both processing equipment and food branches. In the overwhelming majority of articles the results of theoretical and experimental researches are covered.

The bulletin is of interest for the scientists, tutors, post-graduate students, students of engineering and technical faculties of higher educational institutions, experts of processing and food industry in agriculture.

УДК 621.793; 538

## ДО ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ЗА СУКУПНІСЮ ПРУЖНИХ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Богомолів О.В., д.т.н. проф., Завгородній О.І., д.т.н., проф.,  
Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф.,

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

**Богомолів О.О., аспірант**

*(Луганський національний аграрний університет)*

*Розглянуті питання удосконалення процесу сепарації зернових сумішей за пружними та аеродинамічними властивостями. Обґрунтовано новий спосіб сепарації зернових сумішей за сукупністю цих властивостей та запропоновано технічне рішення для реалізації способу у вигляді вібропневмоударного сепаратора.*

**Ключові слова.** *Зернові суміші, сепарація, сукупність, пружні властивості, аеродинамічні властивості, вібропнево-ударний сепаратор.*

**Постановка задачі.** Сепарація зернових, насінневих та інших сипких сумішей здійснюється за різницею фізико-механічних властивостей суміші [1].

Сепарація зернових сумішей за пружними властивостями здійснюється або за рахунок удару частинок суміші об відбивну поверхню, або удару поверхні по частинках сумішей. Перший спосіб успішно реалізовано в сепараторах з наклонними відбивними поверхнями зокрема в гравітаційних багатоярусних ударних сепараторах [2, 3, 4].

Другий реалізовано в падди-машинах, що випускаються промисловістю [5].

Перевагами першого способу є те, що на процес сепарації енергії зовсім не витрачається. Однак продуктивність цього способу низька.

В падди-машинах продуктивність достатньо висока, але основним їхм недоліком є великі витрати енергії на процес сепарації та складність конструкції, це пояснюється тим, що в коливальний рух приводиться весь кузов машини, окрім привода та завантажувального бункера.

**Основні матеріали досліджень.** Набагато простіший за

конструкцією є сепаратор, схема якого представлена на рис. 1 [6].

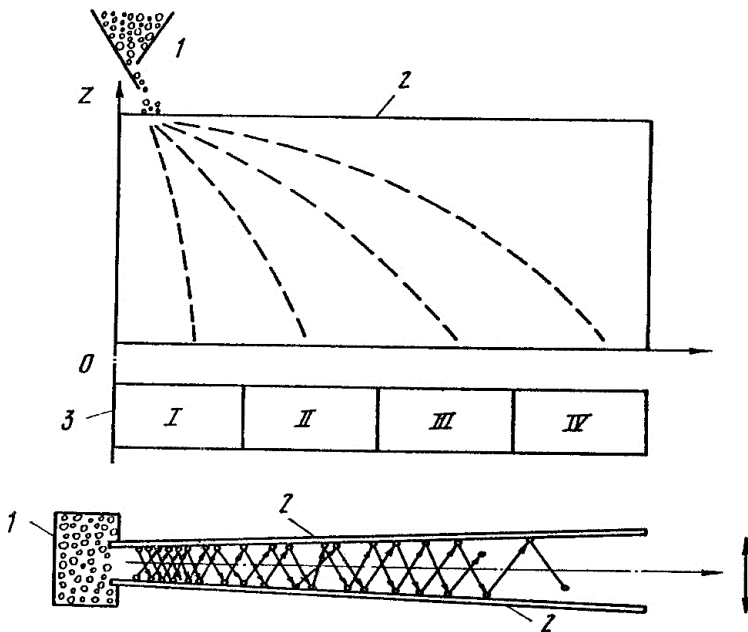


Рис. 1. Принципова схема віброударної сепаратора: 1 - пристрій живлення; 2 - деки; 3 - приймачі продуктів поділу

У цьому сепараторі поділ зернистих матеріалів вихідного матеріалу подають в зазор між вертикально встановленими площинами зі змінним зазором між ними, причому подачу здійснюють з боку вузького зазору між площинами, а вібраційний вплив на матеріал здійснюють поперечними щодо вертикальній площині симетрії площин коливаннями.

На рис. 2 представлена схема руху частки між площинами.

Процес поділу суміші відбувається наступним чином. Оброблювану зернову суміш з пристрою живлення 1 подають у верхню частину порожнини між вертикально розташованими площинами (деками) 2 і повідомляють останнім гармонійні коливання. Під дією коливань і сили тяжіння частки переміщуються в зазорі між площинами і надходять до відповідних приймачі 3 продуктів поділу. При цьому в залежності від пружних властивостей частки будуть переміщатися від живильного пристрою на різну відстань. Відбір фракцій в приймачі насіння відбуватиметься в той момент, коли частка не досягає протилежної деки, тобто в момент

максимальної прояви часткою своїх пружних властивостей. Отже, в приймач I відбираються менш пружні насіння, а приймач IV - найбільш пружні. Насіння з проміжними значеннями цих властивостей відбираються в приймачі II і III. При цьому кожна фракція містить частинки, близькі за своїми властивостями.

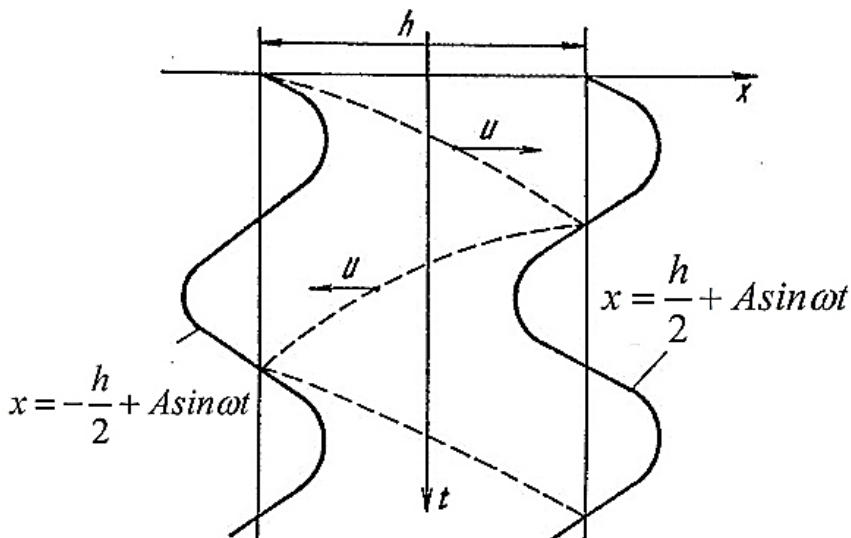


Рис. 2. Схема руху частки між площинами

На рис. 2 суцільною лінією показані траєкторії руху площин в часі  $t$ , а пунктирною - частинки, для якої величина просвіту між площинами дорівнює  $h$ .

Закони коливань площин в прийнятій системі відліку наступні:  
 - для лівої площини

$$X_1 = -h/2 + A \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

- для правої площини

$$X_n = h/2 + A \cdot \sin \omega t. \quad (2)$$

На схемі показаний критичний випадок регулярного руху частинки, коли площини передають їй максимально можливу енергію при ударі, тобто мають при ударі максимальну зустрічну швидкість руху, рівну:

$$V = A \cdot \omega, \quad (3)$$

де  $A$  - амплітуда, м;

$\omega$  - частота коливань площин, 1/с.

Розглянемо плоску задачу без урахування руху під дією сил тяжіння.

Позначимо абсолютну швидкість горизонтального переміщення частинки буквою  $U^*$ . Тоді відносна швидкість при зустрічі частки з площинами дорівнюватиме:

$$V_0 = V + U^* = A \cdot \omega + U^*. \quad (4)$$

Горизонтальна швидкість після удару дорівнює  $U^*$  і обчислюється за формулою:

$$U^* = R_y \cdot V_0 = R_y (A \cdot \omega + U^*). \quad (5)$$

Звідки:

$$U^* = \frac{R_y \cdot A \cdot \omega}{1 - R_y}, \quad (6)$$

де  $R_y$  - коефіцієнт відновлення швидкості Ньютона.

Для подолання відстані  $h$  частці потрібен час, що дорівнює половині періоду коливань площин:

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}. \quad (7)$$

Отже:

$$h = U^* \cdot \tau = U^* \frac{\pi}{\omega}. \quad (8)$$

Виключаючи з формул (7.6) і (7.8) швидкість  $U^*$ , отримаємо мінімально можливе (критичне) значення амплітуди коливань, при якому можливий регулярний режим руху частинки, тобто:

$$A_{kh} = h \frac{1 - R_y}{\pi R_y}. \quad (9)$$

Таким чином, для дотримання регулярного режиму руху повинна виконуватися умова:

$$A > A_{kp}, \quad (10)$$

а для усунення цього режиму повинно виконуватися умова, зворотне висловом (10).

У місці завантаження оброблюваного матеріалу регулярний режим повинен дотримуватися для всіх частинок. Якщо він буде дотриманий для дрібнозернистої ( $h_m$ ) і малоупругої ( $R_{min}$ ) фракції, то



тим більше він буде мати місце і для інших. Отже, амплітуда повинна бути обрана з умови:

$$A > h_m \frac{1 - R_{min}}{\pi R_{min}}, \quad (11)$$

де  $h_m$  - величина просвіту між часткою дрібнозернистої фракції і площинами в найбільш вузькій частині зазору між ними, м;  
 $R_{min}$  - мінімальне значення коефіцієнта відновлення нормальної швидкості.

З іншого боку, інтенсивність коливань повинна бути такою, щоб регулярний режим руху був порушений для всіх фракцій суміші на робочому місці їх руху між площинами. Якщо це так, то всі фракції, перш ніж опинитися в самій кінцевій області площин (з найбільшим зазором), вийдуть з регулярного режиму руху і потраплять в нижні приймачі. Причому, якщо це станеться для крупнозернистої ( $h_k$ ) і найбільш пружної ( $R_{max}$ ) фракції, то поготів і для інших. Отже, для амплітуди маємо ще одну умову:

$$A < h_k \frac{1 - R_{max}}{\pi R_{max}}, \quad (12)$$

де  $h_k$  - величина просвіту між часткою крупнозернистої фракції і площинами в найбільш широкій частині зазору між ними, м;  
 $R_{max}$  - максимальне значення коефіцієнта відновлення нормальної швидкості.

Об'єднуючи вирази (11) і (12), отримаємо інтервал можливих значень амплітуди, при якій можна здійснити даний спосіб:

$$h_m \frac{1 - R_{min}}{\pi R_{min}} < A < h_k \frac{1 - R_{max}}{\pi R_{max}}.$$

Єдиним недоліком цього пристрою є мале число взаємодій частинок суміші з ударними поверхнями через великі швидкості їх падіння в робочому зазорі, через що знижується якість сепарації.

У способі сепарації сипких матеріалів і пристрої для його здійснення в вібропневмоударному сепараторі цей недолік усунуто [7]. Крім того, даний пристрій дозволяє виділяти легкі домішки. Схема цього пристрою представлена на рис. 3.

Пристрій містить завантажувальний бункер 1, ударні сепаруючі поверхні 2, встановлені під кутом одна до одної, які коливаються перпендикулярно осі їх симетрії, відстійну камеру 3, гнучкий патрубок 4, вентилятор 5, електродвигун 6 і приймачі продуктів поділу 7.

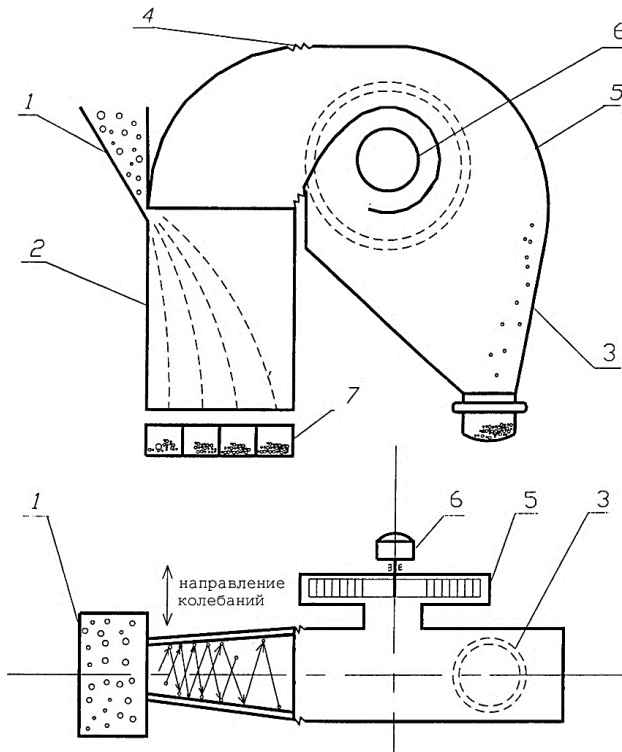


Рис. 3. Вібропневмоударний сепаратор: 1 - завантажувальний бункер; 2 - сепаруючі поверхні; 3 - відстійка камера; 4 - гнучкий патрубок; 5 - вентилятор; 6 - електродвигун; 7 - приймачі продуктів поділу

Робота пристрою здійснюється наступним чином. З завантажувального бункера вихідна суміш потрапляє в зазор між хитаються поверхнями. Вентилятор створює вертикальний повітряний потік, швидкість якого зазвичай встановлюється рівною  $0,5...0,95$  критичної швидкості витання часток суміші. При цьому внаслідок зниження швидкості руху частинок вниз і, отже, збільшення часу перебування частинок суміші між ударними поверхнями, збільшується кількість зіткнень частинок з поверхнями. Внаслідок цього повніше проявляються пружні властивості частинок, при цьому швидкість руху пружних частинок в подовжньому напрямі істотно збільшується, а менш пружних практично не змінюється, так як вони при збільшенні зазору між поверхнями не досягають протилежної ударної поверхні. Завдяки

цьому траєкторії руху пружних частинок змінюються, відстань між траєкторіями пружних і непружних частинок збільшується і вони потрапляють в різні приймачі продуктів поділу; за рахунок чого і збільшується якість сепарації.

**Висновки.** Завдяки спрямованому керуванню напрямом траєкторій руху частинок зернової суміші в зазорі між ударними поверхнями та збільшенню часу перебування також кількості зіткнень частинок з ударними поверхнями більш повніше проявляються їхні пружні властивості і таким чином підвищується якість сепарації.

### Список літератури

1. Богомолов А.В. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Монография. Харьков: ХНТУСХ им.П.Василенка. 2013. – 308 с.

2. Слукин О.Л. Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автор дис....канд.техн.наук: 05.20.01. / Всероссийский научно-исследовательский и проектно–технологический институт рапса. – Липецк, 1992. – 20 с.

3. Пристрій для розподілу зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. №57958 Україна, МКВ В07 В 13/00. О.В.Богомолов, Ю.І.Токолов, М.О.Зінченко – №200203187; Заявл. 7.03.2002; Опубл. 15.07.2003, Бюл. №7. – 2 с.

4. Багатоярусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07 В13/00, Богомолов О.В., Богомолова В.П. №201014867. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16. – 4 с.

5. Г.Е.Егоров, Е.М.Мельников, В.Ф.Журавлев. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1979. – 368 (стр.183)

6. Устройство для разделения зерновых смесей по упругости: А.с. №1526008 СССР, МК В07В13/00 /П.М.Заика, А.В.Козаченко, А.И.Завгородний, А.В.Богомолов. – № 4162603/29–03; Опубл.16.12.86. – 4 с.

7. Спосіб сепарації сипких матеріалів та пристрій для його здійснення. Д.п. № 64902А Україна, МКВ В 07В13/00 А.В.Богомолов – № 2002129888; Заяв. 10.12.2002; Опубл. 15.03.2004. Бюл. №3 – 3 с.

## Аннотация

### К ВОПРОСУ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ ЗА СОВОКУПНОСТЬЮ УПРУГИХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВА

*Рассмотрены вопросы совершенствования процесса сепарации зерновых смесей за упругими и аэродинамическими свойствами. Обоснованно новый способ сепарации зерновых смесей по совокупности этих свойств и предложены техническое решение для реализации способа в виде вибропневмоударного сепаратора.*

**Ключевые слова.** *Зерновые смеси, сепарация, совокупность, упругие свойства, аэродинамические свойства, Вибропневмоударный сепаратор.*

## Abstract

### TO THE ISSUE OF SEPARATION OF GRAIN MIXTURES BY THE TOTAL OF ELASTIC AND AERODYNAMIC PROPERTIES

*The issues of improvement of the process of separation of grain mixtures by elastic and aerodynamic properties are considered. A new method of separation of grain mixtures on the basis of these properties is substantiated and a technical solution for the implementation of the method in the form of a vibropneumatic shock separator is proposed.*

**Keywords.** *Grain mixtures, separation, aggregate, elastic properties, aerodynamic properties, vibropneumatic impact separator.*

## УДК 534.1:539.3

### ВІЛЬНІ ЗАТУХАЮЧІ КОЛИВАННЯ ОСЦИЛЯТОРА ДУФІНГА, СПРИЧИНЕНІ КВАДРАТИЧНИМ ОПОРОМ

**Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф., Бурлака В.В., к.т.н., доц.,  
Сліпченко М.В., к.т.н., доц., Спольнік О.І., д.ф.-м.н., проф.**  
*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*Методом енергетичного балансу виведено розрахункові формули для наближеного обчислення амплітуд затухаючих коливань осцилятора з кубічною нелінійністю в характеристиці пружності при наявності опору, пропорційного квадрату швидкості руху. Реалізовано дві форми методу енергетичного балансу, який не потребує розв'язання нелінійного диференціального рівняння коливань осцилятора.*

**Ключові слова:** вільні затухаючі коливання, метод енергетичного балансу, квадратичний опір, кубічно-нелінійна характеристика пружності.

**Постановка задачі та огляд літературних джерел.** Коливання лінійно-пружних осциляторів з квадратичним опором рухові, спричинені початковим відхиленням системи від положення рівноваги, розглядали в багатьох публікаціях, із яких виділимо [1-4]. В [1] обчислення амплітуд коливань зведено до трансцендентного рівняння і побудовано його універсальний графічний розв'язок. Цей спосіб розрахунку надруковано також у довіднику [2]. Асимптотичний розв'язок цієї задачі одержано в [3] і показано, що наближені результати добре узгоджуються з результатами числового розв'язку відповідного трансцендентного рівняння. В [4] для дослідження задіяно метод енергетичного балансу. Він дає розрахункову формулу таку як і асимптотичний метод у першому наближенні [3]. В роботі [5] для розрахунку послідовності амплітуд коливань задіяно функцію Ламберта, таблиці якої надруковано в [6]. При переході від лінійної характеристики пружності до нелінійної задача руху суттєво ускладнюється, бо диференціальне рівняння коливань має подвійну не лінійність, а побудова його аналітичного розв'язку складає значні математичні труднощі. Саме тому тут, для проведення дослідження, вибрано метод енергетичного балансу, який не потребує розв'язування рівняння руху. Цей метод останнім часом системно використовували для розрахунку вільних коливань дисипативних осциляторів в роботах [7-10] при лінійній характеристиці пружності. Тут поставлена задача поширити метод і на нелінійно-пружні системи.

**Метою** статті є виведення та апробація розрахункових формул для обчислень амплітуд затухаючих вільних коливань осцилятора типу Дуффінга, при наявності опору, пропорційного квадрату швидкості руху.

#### **Викладення основного матеріалу.**

*Побудова та використання рівняння обвідної коливального процесу.*

Рух осцилятора описуємо диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{x} + kx^2 \operatorname{sign}(\dot{x}) + c_1x + c_2x^3 = 0, \quad (1)$$

при початкових умовах:

$$x(0) = -a_0; \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (2)$$

В (1), (2)  $m$  – маса осцилятора;  $k$  – коефіцієнт квадратичного опору;  $c_1, c_2$  – характеристики жорсткості системи;  $x = x(t)$  – відхилення осцилятора від положення  $x = 0$ , як функція часу  $t$ ;  $a_0$  – стартове відхилення; крапка над  $x$  означає похідну по  $t$ .

Розглянемо  $i$ -й розмах коливань, що починаються з відхилення  $x = -a_{i-1}$  і закінчується відхиленням  $x = a_i < a_{i-1}$ . Зміна потенціальної енергії  $\Delta\Pi$  на цьому етапі руху становить:

$$\Delta\Pi = \frac{c_1}{2}(a_i^2 - a_{i-1}^2) + \frac{c_2}{4}(a_i^4 - a_{i-1}^4). \quad (3)$$

Робота сили квадратичного опору  $A_T$  на цьому переміщенні наближено дорівнює [4]:

$$A_T = -\frac{4}{3}k\omega_i^2 a^3. \quad (4)$$

Тут  $a = 0,5(a_i + a_{i-1})$ ;  $\omega_i$  – осереднена частота руху на  $i$ -му розмасі. Щоб вивести диференціальне рівняння обвідної, дотримуючись [11], замінимо (3) наближено на:

$$\Delta\Pi \approx (c_1 a + c_2 a^3) \frac{\pi}{\omega_i} \frac{da}{dt}. \quad (5)$$

Тоді рівність правих частин виразів (4) і (5) зводиться до рівняння:

$$\left( \frac{c_1}{a^2} + c_2 \right) \frac{da}{dt} = -\frac{4k}{3\pi} \omega_i^3.$$

При  $a(0) = a_{i-1}$  воно має розв'язок:

$$c_2 a^2 - c_1 = a \left( c_2 a_{i-1} - \frac{c_1}{a_{i-1}} - \frac{4k}{3\pi} \omega_i^3 t \right). \quad (6)$$

У випадку лінійної пружності осцилятора  $c_2 = 0$ ,  $\omega_i = \omega = \sqrt{\frac{c_1}{m}} = \text{const}$ ,  $a_{i-1} = a_0$  із (6) випливає, що

$$a = a(t) = \frac{1}{\frac{1}{a_0} + \frac{4k}{3\pi c_1} \omega^3 t}.$$

Таке рівняння огинаючої графіка коливань знаходимо в [3, 4], де воно одержане різними методами.

Оскільки при  $t = t_i = \pi / \omega_i$ ,  $a = a_i$ , то рівняння (6) отримує форму:

$$c_2 a_i^2 - c_1 = a_i \left( c_2 a_{i-1} - \frac{c_1}{a_{i-1}} - \frac{4k}{3} \omega_i^2 \right). \quad (7)$$

1.1. У випадку жорсткої характеристики пружності  $c_1 > 0$ ,  $c_2 > 0$  і можна наближено прийняти:

$$\omega_i^2 = \frac{c_1}{m} + \frac{3}{16} \frac{c_2}{m} (a_i + a_{i-1})^2. \quad (8)$$

Підстановка цього виразу в (7) дає кубічне рівняння:

$$a_i^3 + a_* a_i^2 + b_* a_i + c_* = 0, \quad (9)$$

у якому:

$$a_* = 2a_{i-1} + \frac{4m}{k}, \quad b_* = a_{i-1}^2 + \frac{16}{3} \frac{c_1}{c_2} + \frac{4m}{kc_2} \left( \frac{c_1}{a_{i-1}} - c_2 a_{i-1} \right), \quad c_* = -\frac{4mc_1}{kc_2}.$$

Рівняння (9) має розв'язок:

$$a_i = 2\sqrt{-p_i/3} \cos \frac{\alpha_i}{3} - \frac{a_*}{3}. \quad (10)$$

Тут:

$$p_i = b_* - \frac{a_*^2}{3}; \quad q_i = 2 \left( \frac{a_*}{3} \right)^3 - \frac{a_* b_*}{3} + c_*;$$

$$\alpha_i = \arccos \left[ -q_i / \left( 2\sqrt{-(p_i/3)^3} \right) \right]. \quad (11)$$

Розв'язок (10), (11) має чинність, коли:

$$Q_i = \left( \frac{p_i}{3} \right)^3 + \left( \frac{q_i}{2} \right)^2 < 0.$$

Якщо  $Q_i \geq 0$ , то:

$$a_i = \sqrt[3]{\sqrt{Q_i} - 0,5q_i} - \sqrt[3]{\sqrt{Q_i} + 0,5q_i} - \frac{a_*}{3} \quad (12)$$

Знаючи  $a_{i-1}$ , по формулах (10), (12) можна обчислити амплітуду  $a_i$  та тривалість розмаху  $t_i$ . Так послідовно знаходимо характеристики коливального процесу.

1.2. При м'якій характеристиці пружності, коли  $c_1 > 0$ ,  $c_2 < 0$ , квадрат частоти  $\omega_i^2$  наближено дорівнює:

$$\omega_i^2 = \frac{c_1}{m} - \frac{3}{16} \frac{|c_2|}{m} (a_i + a_{i-1})^2.$$

Підстановка цього виразу в (7) теж дає кубічне рівняння (9), в якому залишається попереднім коефіцієнт  $a_*$ , а два інших подаються формулами:

$$b_* = a_{i-1}^2 - \frac{16}{3} \frac{c_1}{|c_2|} - \frac{4m}{k|c_2|} \left( \frac{c_1}{a_{i-1}} + |c_2| a_{i-1} \right), \quad c_* = \frac{4mc_1}{k|c_2|}.$$

У цьому випадку кубічне рівняння (9) має розв'язок:

$$a_i = -2\sqrt{-p_i/3} \cos \frac{\alpha_i + \pi}{3} - \frac{a_*}{3}, \quad (13)$$

причому зберігають чинність формули (11).

Отже знову маємо рекурентне співвідношення для обчислень амплітуд коливань і тривалостей розмахів  $t_i = \pi / \omega_i$ .

## 2. Друга форма методу енергетичного балансу.

Прирівнявши праві частини виразів (3), (4), одержуємо рівняння:

$$\frac{c_1}{2} (a_i^2 - a_{i-1}^2) + \frac{c_2}{4} (a_i^4 - a_{i-1}^4) = -\frac{4}{3} k \omega_i^2 a^3,$$

яке після підстановки в нього (8), набуває вигляд:

$$c_1 (a_{i-1} - a_i) + c_2 a^2 (a_{i-1} - a_i) = \frac{4}{3} k a^2 \left( \frac{c_1}{m} + \frac{3}{4} \frac{c_2}{m} a^2 \right).$$

Враховуючи, що  $a_i - a_{i-1} = 2(a - a_{i-1})$ , далі отримуємо:

$$c_1 (a_{i-1} - a) + c_2 (a_{i-1} - a) a^2 = \frac{2}{3} k a^2 \left( \frac{c_1}{m} + \frac{3}{4} \frac{c_2}{m} a^2 \right).$$

У підсумку, внаслідок елементарних перетворень, приходимо до рівняння четвертого ступеня:

$$\xi_i^4 + \frac{2m}{k} \xi_i^3 - \left( \frac{2m}{k} a_{i-1} - \frac{4}{3} \frac{c_1}{c_2} \right) \xi_i^2 + \frac{2m}{k} \frac{c_1}{c_2} \xi_i - \frac{2m}{k} \frac{c_1}{c_2} a_{i-1} = 0, \quad (14)$$

що виражає зв'язок між  $a_i$  та  $a_{i-1}$ , бо:

$$a_i = 2\xi_i - a_{i-1}. \quad (15)$$

Для пошуку кореня рівняння (14) можна використовувати ітераційну формулу Ньютона, за якою:



$$\xi_{ij+1} = \xi_{ij} - \frac{\xi_{ij}^4 + \frac{2m}{k} \xi_{ij}^3 - \left( \frac{2m}{k} a_{i-1} - \frac{4}{3} \frac{c_1}{c_2} \right) \xi_{ij}^2 + \frac{2m}{k} \frac{c_1}{c_2} \xi_{ij} - \frac{2m}{k} \frac{c_1}{c_2} a_{i-1}}{4\xi_{ij}^3 + \frac{6m}{k} \xi_{ij}^2 - 2 \left( \frac{2m}{k} a_{i-1} - \frac{4}{3} \frac{c_1}{c_2} \right) \xi_{ij} + \frac{2m}{k} \frac{c_1}{c_2}}, \quad (16)$$

$$j = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Початкове наближення  $\xi_{i0} = a_{i-1}$ .

Розрахунок амплітуд коливань за викладеною схемою можливий як при  $c_2 > 0$  так і при  $c_2 < 0$ .

### Числові результати та їх аналіз.

Розглянемо декілька прикладів.

*Приклад 1.* Обчислимо послідовність десяти амплітуд затухаючих коливань осцилятора з жорсткою характеристикою пружності при  $m = 2$  кг;  $k = 8$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $c_1 = 800$  Н/м;  $c_2 = 160000$  Н/м<sup>3</sup>;  $a_0 = 0,05$  м. Одержані трьома способами значення амплітуд записано в табл. 1.

В останній колонці записано значення  $x = x(\sum t_i^*)$ , одержані числовим інтегруванням диференціального рівняння (1) на комп'ютері. Їх можна вважати умовно точними амплітудами коливань. Порівняння показує, що тут формула (10) дає більш точні результати, ніж формула (15).

Результати числового інтегрування рівняння (1), у вигляді графіка коливань подано на рис. 1. Графічна інформація на рисунку узгоджується з числовими результатами в табл. 1.

Таблиця 1

### Значення $a_i$ при $c_2 > 0$

$i$	$\sum t_i^*, \text{с}$	форм. (10), (12)	форм. (15), (16)	числ. інт.
		Значення 100 $a_i$ , м		
1	0,13817	4,005	3,998	4,042
2	0,28171	3,330	3,322	3,374
3	0,42874	2,845	2,836	2,887
4	0,57815	2,480	2,472	2,519
5	0,72920	2,197	2,189	2,231
6	0,88143	1,970	1,964	2,000
7	1,03454	1,786	1,780	1,812
8	1,18832	1,632	1,627	1,656
9	1,34260	1,503	1,499	1,523
10	1,49729	1,393	1,389	1,411

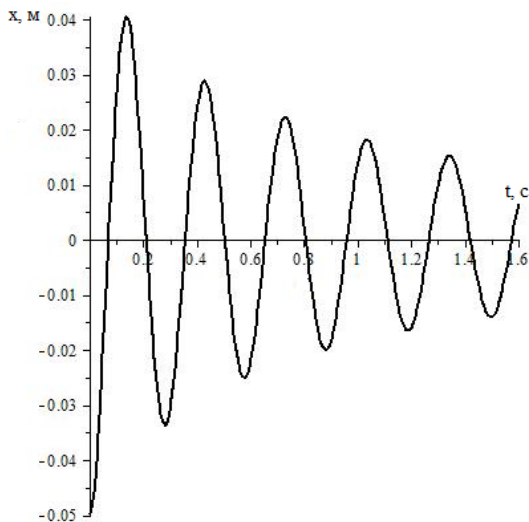


Рис. 1. Графік коливань, отриманий числовим інтегруванням при  $c_2 > 0$

*Приклад 2.* Щоб розрахувати амплітуди коливань осцилятора з м'якою характеристикою пружності, приймаємо  $m = 2$  кг;  $k = 8$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $c_1 = 800$  Н/м;  $c_2 = -80000$  Н/м<sup>3</sup>;  $a_0 = 0,05$  м. Обчислена послідовність з десяти амплітуд коливань записана в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення  $a_i$  при  $c_2 < 0$**

$i$	$\sum t_i^*, \text{с}$	форм. (13),	форм. (15), (16)	числ. інт.
		Значення $100 a_i, \text{м}$		
1	0,17157	3,899	3,883	3,863
2	0,33721	3,209	3,192	3,171
3	0,50007	2,731	2,716	2,697
4	0,66134	2,379	2,365	2,349
5	0,82163	2,108	2,096	2,082
6	0,98124	1,893	1,883	1,871
7	1,14038	1,718	1,709	1,699
8	1,29916	1,573	1,566	1,556
9	1,45767	1,450	1,444	1,436
10	1,61598	1,346	1,340	1,333

Тут теж метод енергетичного балансу дає результати, які задовільно узгоджуються з результатами числового інтегрування диференціального рівняння руху. Одержаний цим способом графік коливань зображено на рис. 2.

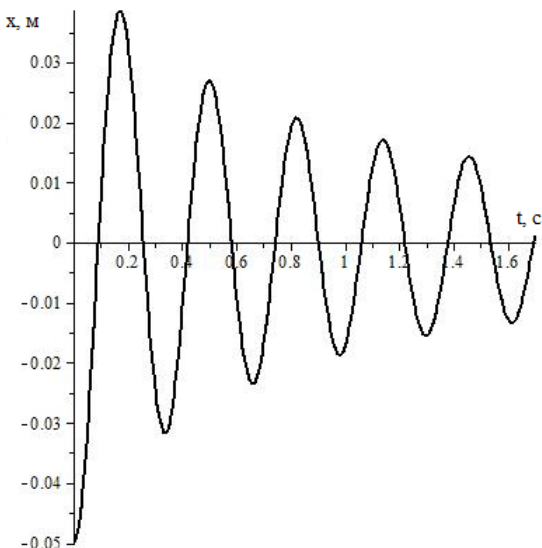


Рис. 2. Графік коливань, отриманий числовим інтегруванням при  $c_2 < 0$

*Приклад 3.* Покажемо, що метод енергетичного балансу можна використовувати і для ідентифікації значення коефіцієнта квадратичного опору за результатами виміру амплітуд коливань. Із (3) і (4) випливає, що:

$$k = \frac{3m(a_{i-1} - a_i)}{(a_i + a_{i-1})^2} \frac{c_1 + 0,5c_2(a_i^2 + a_{i-1}^2)}{c_1 + \frac{3}{16}c_2(a_i + a_{i-1})^2} \quad (17)$$

Припустимо, що  $m = 2$  кг;  $c_1 = 800$  Н/м;  $c_2 = 160000$  Н/м<sup>3</sup>, а за результатами виміру  $a_0 = a_{i-1} = 0,05$  м;  $a_1 = a_i = 0,04$  м. Тоді за формулою (17)  $k = 8,011$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Близьке до цього значення  $k$  використовували в попередніх прикладах.

**Висновки.** Виведені методом енергетичного балансу наближені формули дають можливість розрахувати амплітуди

вільних затухаючих коливань осцилятора типу Дуффінга при наявності квадратичного опору рухові, без розв'язування диференціального рівняння коливань. При цьому крім прямих задач є можливість розв'язувати і обернену задачу динаміки по ідентифікації значення коефіцієнта опору за результатами виміру двох сусідніх амплітуд коливань. Розрахунки підтвердили, що наближені формули дають результати, які задовільно узгоджуються з результатами числового розв'язання задачі Коші на комп'ютері.

### Список літератури

1. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики: Т.2. / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Дрофа, 2006. – 720 с.
2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т 3. / Под общей редакцией И.А. Бергера, Я.Г Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 568 с.
3. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1980. – 270 с.
5. Ольшанский В.П. Функция Ламберта в задаче колебаний математического маятника / В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП», 2014. – № 18 (1061). – С. 116-119.
6. Ольшанский В.П. Функция Ламберта в задачах баллистики материальной точки / В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Издатель Савчук А.О., 2013. – 204 с.
7. Бурлака В.В. До розрахунку коливань механізмів при спільній дії сил сухого та в'язкого тертя / В.В. Бурлака, В.П. Ольшанський, О.М. Малець. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 148. – С. 19-24.
8. Бурлака В.В. До розрахунку коливань механізмів з комбінованим сухим тертям / В.В. Бурлака, В.П. Ольшанський, О.М. Малець. // Проблеми надійності машин та засобів сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 151. – С. 384-390.
9. Ольшанський В.П. Коливання дисипативних осциляторів. / В.П. Ольшанський, Л.М. Тіщенко, С.В. Ольшанський та ін. – Харків: Міськдрук, 2015. – 116 с.

10. Ольшанський В.П. Динаміка дисипативних осциляторів. / В.П. Ольшанський, Л.М. Тіщенко, С.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2016. – 264 с.

11. Ольшанський В.П. Про затухання вільних коливань дисипативного осцилятора дуффінга / В.П. Ольшанський, В.В. Бурлака, М.В. Сліпченко. // Проблеми надійності машин та засобів сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – Вип. 201. – С. 184-190.

#### **Аннотация**

### **СВОБОДНЫЕ ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ ОСЦИЛЛЯТОРА ДУФФИНГА, ВЫЗВАННЫЕ КВАДРАТИЧНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ**

*Методом энергетического баланса выведено расчетные формулы для приближенного вычисления амплитуд затухающих колебаний осциллятора с кубической нелинейностью в характеристике упругости при наличии сопротивления, пропорционального квадрату скорости движения. Реализовано две формы метода энергетического баланса, который не требует решения нелинейного дифференциального уравнения колебаний осциллятора.*

**Ключевые слова:** свободные затухающие колебания, метод энергетического баланса, квадратичное сопротивление, кубически-нелинейная характеристика упругости.

#### **Abstract**

### **FREE DAMPING OSCILLATIONS OF DUFFING OSCILLATOR CAUSED BY QUADRATIC RESISTANCE**

*Using the energy balance method, calculation formulas are derived for an approximate calculation of the amplitudes of damped oscillations of an oscillator with cubic nonlinearity in the characteristic of elasticity in the presence of resistance proportional to the square of the speed of motion. Two forms of the energy balance method are implemented, which does not require solving the nonlinear differential equation of oscillator oscillations.*

**Keywords:** free damped oscillations, energy balance method, quadratic resistance, cubic nonlinear elasticity characteristic.

УДК 534.1:539.3

## ВІЛЬНІ ЗАТУХАЮЧІ КОЛИВАННЯ ОСЦИЛЯТОРА З КОМБІНОВАНИМ ОПОРОМ

Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф., Бурлака В.В., к.т.н., доц.,  
Сліпченко М.В., к.т.н., доц.

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*Розглянуто вільні коливання лінійно пружного осцилятора, за наявності сили опору, що включає три складові. Для дослідження вільних коливань системи з одним ступенем вільності використано метод енергетичного балансу. Наближено реалізовано два варіанту цього методу.*

**Ключові слова:** *затухаючі вільні коливання, комбінований нелінійний опір, метод енергетичного балансу, амплітуди розмахів, рекурентне співвідношення.*

**Постановка задачі.** В моделях дисипативних систем в теорії механічних коливань традиційно беруть до уваги одну із сил опору різної природи, наприклад, силу в'язкого або сухого тертя. На практиці в технічних системах часто спільно діють різні сили опору. Тому бажано знати закономірності коливань дисипативних механічних систем в умовах комбінованого опору. Для цього треба розробляти більш загальні математичні моделі, що ґрунтуються на використанні нелінійних диференціальних рівнянь. Про одну із них йдеться даній статті.

**Огляд літературних джерел.** Вільні затухаючі коливання осцилятора при спільній дії сил лінійного в'язкого і сухого тертя описано в [1]. Там розв'язок задачі подано на фазовій площині. Пізніше в [2] будували точний і наближений аналітичні розв'язки цієї задачі відповідно методом припасування та методом енергетичного балансу. Одержані там результати потім увійшли до монографічних видань [3, 4]. Заслуговує уваги, що метод енергетичного балансу дає можливість наближено дослідити вільні коливання без побудови розв'язку нелінійного диференціального рівняння руху осцилятора. Тому цей метод уже давно використовують в теорії механічних коливань [5-7]. У вказаних виданнях подано загальні положення методу та його реалізація у випадках одночленного виразу опору, а саме при дії тільки сили квадратичного опору (гідрравлічне або турбулентне демпфування),

при дії лише сили лінійного в'язкого опору та при дії одної сили сухого тертя Кулона. Показано, що в двох останніх випадках метод енергетичного балансу призводить до точних розв'язків динамічної задачі [7-9]. Це вплинуло на вибір методу дослідження в цій статті.

**Метою** роботи є побудова та апробація розрахунками наближених формул для обчислень амплітуд вільних затухаючих коливань осцилятора при спільній дії трьох сил комбінованого опору руху. Для досягнення цієї мети залучено метод енергетичного балансу.

**Викладення основного матеріалу.** Вільні затухаючі коливання описуємо диференціальним рівнянням з подвійною нелінійністю:

$$m\ddot{x} + k_1\dot{x} + (k_2\dot{x}^2 + k_0)\text{sign}(\dot{x}) + cx = 0, \quad (1)$$

за початкових умов:

$$x(0) = a_0; \quad \dot{x}(0) = 0. \quad (2)$$

В (1), (2):  $m$  – маса осцилятора;  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружини;  $k_1$  – коефіцієнт лінійного в'язкого опору;  $k_2$  – коефіцієнт квадратичного опору;  $k_0$  – сила сухого тертя;  $x = x(t)$  – переміщення осцилятора, як функція часу  $t$ ; крапка над  $x$  означає похідну по  $t$ ;  $a_0$  – стартове відхилення осцилятора від положення  $x = 0$

Коливання, яке описує рівняння (1) при  $k_2 = 0$  ґрунтовно розглядали в [2-4]. Тут узагальнюємо одержані там результати.

*Диференціальне рівняння обвідної та його розв'язки.*

Розглянемо  $i$ -й розмах коливань, при якому амплітуда коливань  $a_{i-1}$  змінюється на амплітуду ..., причому  $\dot{x} \geq 0$ . На такому етапі руху відбувається наступна зміна потенційної енергії:

$$\Delta\Pi = \frac{1}{2}c(a_i^2 - a_{i-1}^2). \quad (3)$$

Сили опору виконують роботу:

$$A_T = \int_{a_{i-1}}^{a_i} [k_1\dot{x} + (k_2\dot{x}^2 + k_0)] dx \quad (4)$$

Її обчислюємо наближено. Дотримуючись [7], задаємо:

$$x(t) = -a \cos(\omega t),$$

де  $a = 0,5(a_{i-1} + a_i)$  і  $\omega = \sqrt{c/m}$ .

Тоді  $dx = a\omega \sin(\omega t) dt$  і замість (4), роботу подаємо

інтегралом:

$$A_T \approx \int_0^{\pi/\omega} [k_1 \omega^2 \sin^2(\omega t) + k_2 \omega^3 \sin^3(\omega t) + k_0 \omega \sin(\omega t)] dt.$$

Використовуючи таблицю інтегралів отримуємо:

$$A_T \approx -\left(\frac{\pi}{2} k_1 \omega a + \frac{4}{3} k_2 \omega^2 a^2 + 2k_0\right) a. \quad (5)$$

Щоб мати диференціальні рівняння обвідної графіка коливань, вираз (3) замінимо наближено на [6, 7]:

$$\Delta\Pi \approx ca \frac{\pi}{\omega} \frac{da}{dt}. \quad (6)$$

Згідно з методом енергетичного балансу повинна виконуватись рівність  $\Delta\Pi = A_T$ , що, з урахуванням (5) і (6), дає:

$$\frac{da}{dt} = -\lambda_2 a^2 - \lambda_1 a - \lambda_0. \quad (7)$$

$$\text{Тут } \lambda_0 = \frac{2k_0 \omega}{\pi c}; \quad \lambda_1 = \frac{k_1}{2m}; \quad \lambda_2 = \frac{4}{3} \frac{k_2 \omega^3}{\pi c}.$$

Інтегруванням, рівняння (7) зводимо до виразу:

$$\int \frac{da}{a^2 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} a + \frac{\lambda_0}{\lambda_2}} = -\lambda_2 t.$$

Далі будемо розрізняти три можливі випадки:

1. *Випадок перший.* Сила сухого тертя така, що  $\frac{\lambda_0}{\lambda_2} > \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$ .

Тоді з точністю до довільної сталої  $C_1$ :

$$\int \frac{da}{\left(a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2 + b^2} = \frac{1}{b} \operatorname{arctg} \frac{a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}}{b} = -\lambda_2 t + \frac{c_1}{b}. \quad (8)$$

$$\text{Тут } b = \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda_2} - \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2}.$$

Використовуючи умову  $a(0) = a_0$ , знаходимо, що:



$$C_1 = \operatorname{arctg} \frac{a_0 + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}}{b}.$$

Таким чином, згідно з (8), обвідна графіка вільних коливань описується виразом:

$$a(t) = b \operatorname{tg} \left( C_1 - b\lambda_2 t \right) - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}. \quad (9)$$

Рівняння  $a(t_*) = 0$  має розв'язок:

$$t_* = \frac{1}{b\lambda_2} \left( C_1 - \operatorname{arctg} \frac{\lambda_1}{2b\lambda_2} \right).$$

Отже, вільні коливання обмежені в часі. Вони тривають лише на проміжку  $t \in (0; t_*)$ . Кількість зроблених за цей час розмахів  $n_*$  наближено становить:

$$n_* \approx \text{ціла частина} \left( \frac{\omega t_*}{\pi} \right). \quad (10)$$

Із (9) випливає наступна формула для обчислення амплітуди  $a_i$  в кінці  $i$ -го розмаху:

$$a_i = b \cdot \operatorname{tg} \left( C_1 - b\lambda_2 \frac{i\pi}{\omega} \right) - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_*. \quad (11)$$

Оскільки формула (9) стосується сумарного комбінованого опору, то, використовуючи її, розглянемо частинні випадки.

1.1. У силі опру відсутня лінійна складова, тобто  $k_1 = \lambda_1 = 0$ . Тоді (9) набуває вигляд:

$$a(t) = b_1 \frac{a_0 - b_1 \cdot \operatorname{tg}(b_1 \lambda_2 t)}{b_1 + a_0 \cdot \operatorname{tg}(b_1 \lambda_2 t)}, \quad (12)$$

де  $b_1 = \sqrt{\lambda_0 / \lambda_2}$ .

Тривалість вільних коливань обмежена і становить:

$$t_* = \frac{1}{b\lambda_2} \operatorname{arctg} \frac{a_0}{b_1}.$$

1.2. Крім лінійної складової, в опорі відсутнє ще й сухе тертя. При чисто квадратичному опорі, коли  $\lambda_0 = \lambda_1 = 0$ , спрямувавши  $b_1 \rightarrow 0$  граничним переходом в (12), одержуємо:

$$a(t) = \frac{a_0}{1 + a_0 \lambda_2 t}.$$

Ця гіперболічна залежність буда раніше надрукована в [7-9], причому в [9] одержана асимптотичним методом у першому наближенні.

Тут, внаслідок відсутності сухого тертя, вільні коливання мають безліч циклів і не обмежені в часі.

1.3. Сила опору утворена лише сухим тертям. При  $\lambda_1 = \lambda_2 \rightarrow 0$ :  $b_1 \lambda_2 \rightarrow 0$ ;  $b_1^2 \lambda_2 \rightarrow 0$  і формула (12) набуває вигляд:

$$a(t) = a_0 - \lambda_0 t.$$

Вона відповідає тому розв'язку задачі коливань осцилятора з кулоновим тертям, коли зміна амплітуд розмахів відбувається за законом арифметичної прогресії [1, 7, 8]:

$$a_i = a_0 - \lambda_0 \frac{i\pi}{\omega} = a_0 - \frac{2k_0}{c} i; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_*.$$

Тут тривалість вільних коливань обмежена в часі, причому  $t_* = a_0 / \lambda_0$ .

2. *Випадок другий.* Сила сухого тертя така, що  $\frac{\lambda_0}{\lambda_2} < \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$ .

При такому опорі вираз (8) замінюється виразом:

$$\int \frac{da}{\left(a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2 + \gamma^2} = \frac{1}{2\gamma} \ln \frac{a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} - \gamma}{a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} + \gamma} = -\lambda_2 t + \frac{C_2}{2\gamma}, \quad (13)$$

де  $\gamma = \sqrt{\left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2 - \frac{\lambda_0}{\lambda_2}}$ .

Стала  $C_2$  має бути такою, щоб  $a(0) = a_0$ . Ця вимога виконується, коли:

$$C_2 = \ln \frac{a_0 + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} - \gamma}{a_0 + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} + \gamma}.$$

Розв'язок (13) набуває вигляд:

$$a(t) = \gamma \frac{1 + \exp(C_2) \cdot \exp(-2\gamma\lambda_2 t)}{1 - \exp(C_2) \cdot \exp(-2\gamma\lambda_2 t)} - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}. \quad (14)$$

У відповідності з (14), тривалість вільних коливань становить:

$$t_* = \frac{1}{2\gamma\lambda_2} \left( C_2 - \ln \frac{\lambda_1 - 2\gamma\lambda_2}{\lambda_1 + 2\gamma\lambda_2} \right),$$

а для оцінки кількості розмахів зберігає чинність формула (10).

Задавши в (14)  $t = i\pi / \omega$ , одержуємо формулу для обчислення амплітуд розмахів:

$$a_i = \gamma \frac{1 + \exp(C_2) \cdot \exp(-2\gamma\lambda_2 i\pi / \omega)}{1 - \exp(C_2) \cdot \exp(-2\gamma\lambda_2 i\pi / \omega)} - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_*. \quad (15)$$

Далі розглянемо три частинні випадки розв'язку (14).

2.1. В опорі відсутня квадратична складова. Тоді при  $\lambda_2 \rightarrow 0$ :

$$\gamma \rightarrow \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}; \quad \exp(C_2) \rightarrow \frac{a_0 + \lambda_0 / \lambda_1}{a_0 + \lambda_1 / \lambda_2} \rightarrow 0; \quad 2\gamma\lambda_2 \rightarrow \lambda_1;$$

$$a(t) = \lim_{\lambda_2 \rightarrow 0} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \frac{\exp(C_2) \cdot \exp(-\lambda_1 t)}{1 - \exp(C_2) \cdot \exp(-\lambda_1 t)} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right).$$

Подальше обчислення границі дає

$$a(t) = \left( a_0 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right) \exp(-\lambda_1 t) - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}. \quad (16)$$

Цей вираз  $a(t)$  було одержано раніше в [2, 3].

2.2. Крім квадратичної складової в опорі немає й сухого тертя. Тоді, при  $\lambda_0 = 0$ , вираз (16) набуває більш компактну форму:

$$a(t) = a_0 \exp(-\lambda_1 t) = a_0 \exp\left(-\frac{k_1 t}{2m}\right).$$

Це точна формула в розв'язку задачі вільних затухаючих коливань осцилятора з лінійним в'язким опором, коли зміна амплітуд відбувається за законом геометричної прогресії, а процес коливань не обмежений у часі [1, 7].

2.3. В опорі відсутнє лише сухе тертя. Тоді в (14)  $\lambda_0 = 0$ ;

$$\gamma = \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}; \quad 2\gamma\lambda_2 = \lambda_1; \quad \exp(C_2) = \frac{a_0}{a_0 + \lambda_1 / \lambda_2}. \quad \text{Графік обвідної}$$

коливального процесу подається виразом:

$$a(t) = \left[ \left( \frac{1}{a_0} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \exp(-\lambda_1 t) - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right]^{-1}.$$

Вільні коливання мають безліч циклів.

3. *Випадок третій.* Співвідношення сил опору таке, що

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \left( \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} \right)^2. \text{ Для нього, замість (13) маємо:}$$

$$\int \frac{da}{\left( a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2} \right)^2} = \frac{-1}{a + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}} = -\lambda_2 t - \frac{1}{a_0 + \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}}.$$

Обвідна графіка коливань описується виразом:

$$a(t) = \frac{1}{\lambda_2 t + \frac{2\lambda_2}{2a_0\lambda_2 + \lambda_1}} - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}.$$

Тривалість вільних коливань становить:

$$t_* = \frac{2}{\lambda_1} \left( 1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + 2a_0\lambda_2} \right).$$

Амплітуди розмахів подаються формулою:

$$a_i = \frac{1}{\lambda_2 \frac{i\pi}{\omega} + \frac{2\lambda_2}{2a_0\lambda_2 + \lambda_1}} - \frac{\lambda_1}{2\lambda_2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_*.$$

Кількість амплітуд обмежена числом  $n_*$ .

*Друга форма методу енергетичного балансу.* Рекурентне співвідношення для обчислень амплітуд розмахів одержимо прирівнявши праві частини виразів (3) і (5). Це дає залежність:

$$(a_i^2 - a_{i-1}^2) = -\frac{2}{c} \left( \frac{\pi}{2} k_1 \omega a + \frac{4}{3} k_2 \omega^2 a^2 + 2k_0 \right) a,$$

Яку зводимо до квадратного рівняння:

$$\gamma_2 z_i^2 + \gamma_1 z_i + 2 \left( \frac{k_0}{c} - a_{i-1} \right) = 0, \quad (17)$$

$$\text{де } z_i = a_i + a_{i-1}; \quad \gamma_1 = 1 + \frac{\pi k_1 \omega}{4c}; \quad \gamma_2 = \frac{k_2 \omega^2}{3c}.$$

Враховуючи, що (17) має розв'язок:

$$z_i = \sqrt{\left(\frac{\gamma_1}{2\gamma_2}\right)^2 + \frac{2}{\gamma_2}\left(a_{i-1} - \frac{k_0}{c}\right)} - \frac{\gamma_1}{2\gamma_2}, \quad (18)$$

Обчислення амплітуд розмахів зводимо до використання співвідношення:

$$a_i = z_i - a_{i-1}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_*. \quad (19)$$

Умова припинення коливального руху подається нерівністю  $a_i \leq k_0 / c$ .

Якщо в опорі відсутня квадратична складова, то граничний перехід  $\gamma_2 \rightarrow 0$  в (18) дає:

$$z_i = \frac{2}{\gamma_1} \left( a_{i-1} - \frac{k_0}{c} \right).$$

Тоді із (19) випливає, що:

$$a_i = \frac{2 - \gamma_1}{\gamma_1} a_{i-1} - \frac{2k_0}{\gamma_1 c}.$$

Раніше таку залежність одержали в [2]. Отже формули (18 і (19) узагальнюють відомі результати.

**Числові результати та їх аналіз.** Приклади розрахунку коливань.

*Приклад 1.* Розрахунки проводимо при  $m = 2$  кг;  $c = 800$  Н/м;  $k_0 = \pi$  Н;  $k_1 = 2$  Н·с/м;  $k_2 = 3\pi / 2$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $a_0 = 0,05$  м. Для вказаних вихідних даних:  $\omega = 20$  с<sup>-1</sup>;  $\lambda_0 = 0,05$  м/с;  $\lambda_1 = 0,5$  с<sup>-1</sup>;  $\lambda_2 = 20$  м<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>;  $b = 0,0484123$  м;  $C_1 = 0,911738$ ;  $t_* = 0,680672$  с;  $n_* = 4$ . Обчислені трьома способами послідовності амплітуд записано в табл. 1.

Таблиця 1

Значення  $a_i$ , обчислені трьома способами, при  $\frac{\lambda_0}{\lambda_2} > \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$

$i$	форм. (11)	форм. (19)	числ. інт.
	$10^2 a_i, \text{ м}$		
1	3,348	3,341	3,344
2	2,116	2,108	2,111
3	1,121	1,115	1,117
4	0,266	0,260	0,263

Результати в останній колонці це значення  $x = x\left(\frac{i\pi}{\omega}\right)$ , які дає числове інтегрування диференціального рівняння (1) при початкових умовах (2) на комп'ютері. Цим же способом одержимо графік вільних коливань осцилятора, зображений на рис. 1.

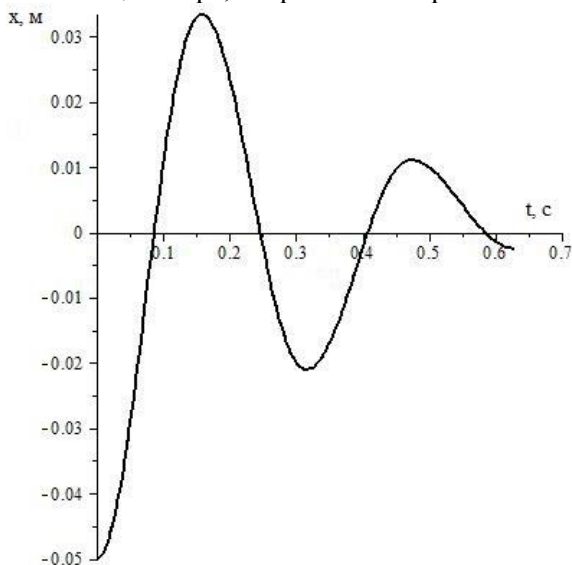


Рис. 1. Графік згасаючих коливань осцилятора

$$\text{при } \frac{\lambda_0}{\lambda_2} > \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$$

Порівняльний аналіз підтверджує узгодженість числових результатів, одержаних різними способами.

Приклад 2. Розрахунок амплітуд проводимо при  $m=2$  кг;  $c=800$  Н/м;  $k_0=0,5\pi$  Н;  $k_1=8$  Н·с/м;  $k_2=3\pi/2$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $a_0=0,05$  м. У порівнянні з попереднім прикладом тут менша сила сухого тертя і більша сила лінійного в'язкого опору. Для прийнятих числових даних:  $\omega=20$  с<sup>-1</sup>;  $\lambda_0=0,025$  м/с;  $\lambda_1=2$  с<sup>-1</sup>;  $\lambda_2=20$  м<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>;  $\gamma=0,0353553$ ;  $C_2=-0,738997$ ;  $\exp(C_2)=0,477593$   $t_*=0,723899$  с;  $n_*=4$ . Кількість розмахів залишилась такою як і в прикладі 1. Одержані трьома способами послідовності амплітуд вільних коливань записано в табл. 2.

Таблиця 2

Значення  $a_i$ , обчислені трьома способами, при  $\frac{\lambda_0}{\lambda_2} < \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$

$i$	форм. (15)	форм. (19)	числ. інт.
	$10^2 a_i$ , м		
1	2,915	2,881	2,893
2	1,657	1,622	1,632
3	0,833	0,802	0,810
4	0,264	0,238	0,244

Графік, одержаний числовим інтегруванням задачі Коші подано на рис. 2.

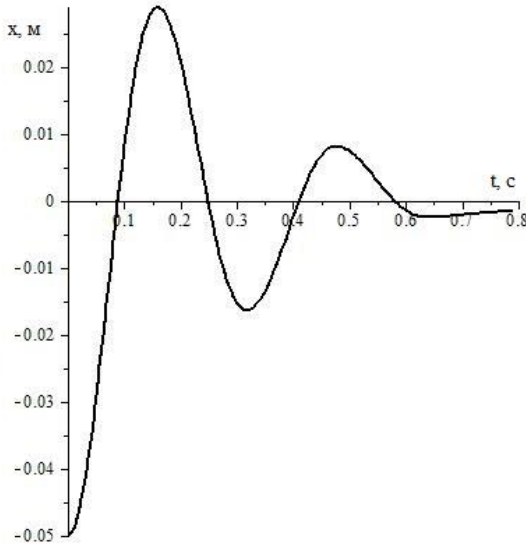


Рис. 2. Графік затухаючих коливань осцилятора

$$\text{при } \frac{\lambda_0}{\lambda_2} < \left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right)^2$$

І в цьому прикладі розбіжності числових результатів не суттєві, що підтверджує ефективність методу енергетичного балансу.

**Висновки.** В роботі виведено та апробовано компактні наближені формули для обчислень амплітуд вільних затухаючих коливань механічного осцилятора з комбінованим нелінійним опором. Вони Узагальнюють відомі залежності в теорії коливань

дисипативних осциляторів і дають числові результати, близькі до результатів числового інтегрування нелінійного диференціального рівняння руху осцилятора. Виведені формули зручні до використання, бо пов'язані з обчисленням значень лише елементарних функцій.

### Список літератури

1. Бабаков И.М. Теория колебаний./ И.М. Бабаков. – М.: Дрофа, 2004. – 591 с
2. Бурлака В.В. До розрахунку коливань механізмів при спільній дії сил сухого та в'язкого тертя / В.В. Бурлака, В.П. Ольшанський, О.М. Малець. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 148. – С. 19-24.
3. Ольшанський В.П. Коливання дисипативних осциляторів. / В.П. Ольшанський, Л.М. Тіщенко, С.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2015. – 116 с.
4. Ольшанський В.П. Динаміка дисипативних осциляторів. / В.П. Ольшанський, Л.М. Тіщенко, С.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2016. – 264 с.
5. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т 3. / Под общей редакцией И.А. Бергера, Я.Г Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 568 с.
6. Вибрации в технике. Справочник в шести томах. Т 2. Колебания нелинейных механических систем / Под редакцией И.И. Блехмана. – М. машиностроение, 1979. – 351 с.
7. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Г.Я. Пановко. – М.: Наука, 1980. – 270 с.
8. Василенко М.В. Теория колебаний и жесткости руху / М.В. Василенко, О.М. Алексейчук. – К.: Вища школа, 2004. – 525 с.
9. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.

### Аннотация

### СВОБОДНЫЕ ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ ОСЦИЛЛЯТОРА С КОМБИНИРОВАННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

*Рассмотрены свободные колебания линейно упругого осциллятора, при наличии силы сопротивления, которая включает три составляющие. Для исследования свободных колебаний системы*



с одной степенью свободы использован метод энергетического баланса. Приблизненно реализовано два варианта этого метода.

**Ключевые слова:** свободные затухающие колебания, метод энергетического баланса, квадратичное сопротивление, кубически-нелинейная характеристика упругости.

## Abstract

### FREE EXTINGUISHED OSCILLATOR OSCILLATIONS WITH COMBINED RESISTANCE

*The free oscillations of a linearly elastic oscillator are considered in the presence of a resistance force, which includes three components. To study the free vibrations of a system with one degree of freedom, the energy balance method is used. Two versions of this method are approximately implemented.*

**Keywords:** *damped free oscillations, combined nonlinear resistance, energy balance method, amplitude of amplitude, recurrence relation.*

УДК 539.3:534.1

### ДИНАМІКА НЕЛІНІЙНО-ПРУЖНОГО ОСЦИЛЯТОРА З СУХИМ ТЕРТЯМ

Ольшанський В.П., д.ф.-м.н., проф., Бурлака В.В., к.т.н., доц.,  
Сліпченко М.В., к.т.н., доц.

(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

*Розглянуто коливання осцилятора з сухим тертям при степеневій залежності відновлюючої сили від переміщення системи. Встановлено, що затухання амплітуд розмахів, їх кількість, а також тривалість розмахів у часі залежить від значення показника нелінійності та від амплітуд коливаний системи. Виведено формули для обчислень амплітуд розмахів і їх тривалості у часі. Наведено приклади розрахунків.*

**Ключові слова:** *вільні затухаючі коливання, сухе тертя, нелінійно-пружний осцилятор.*

**Постановка задачі та огляд літературних джерел.** Незважаючи на значні досягнення в теорії коливаний [1] залишаються актуальними подальші дослідження особливостей коливального руху

нелінійних систем. Тому продовжують виходити з друку публікації, присвячені цій тематиці. Із робіт, виконаних в останні роки в Україні, відзначимо [2-5], де зібрано чималі списки літературних джерел і проведено їх аналітичний розгляд. У вказаних публікаціях наведено точний розв'язок рівняння вільних коливань системи з одним ступенем вільності при степеневій залежності відновлюючої сили від переміщення осцилятора. Цей розв'язок виражено через відомі спеціальні Атев-функції, а одержані формули для частоти і періоду коливань, пов'язані з обчисленням Гама-функцій. Тут розглядаємо вплив на коливання двох нелінійностей, відповідно у виразі сили пружності та у виразі сили сухого тертя.

**Метою** статті є одержання та апробація розрахункових формул для обчислення амплітуд коливань і тривалостей розмахів нелінійно-пружної системи з одним ступенем вільності при наявності сухого тертя.

### **Викладення основного матеріалу.**

Коливальні переміщення системи  $x = x(t)$  описуємо диференціальним рівнянням:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} x^{2n+1} = -fg \operatorname{sign}(\dot{x}), \quad (1)$$

де  $m$  – маса осцилятора;  $c$  – коефіцієнт жорсткості нелінійної пружини;  $2n+1$  – показник нелінійності ( $n=0,1,2,\dots$ );  $f$  – коефіцієнт сухого тертя;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $t$  – час; крапка над  $x$  означає похідну по  $t$ .

При  $n=0$  рівняння (1) описує коливання лінійно-пружної системи з сухим тертям.

Початковими умовами до (1) приймаємо:

$$x(0) = -a_0; \dot{x}(0) = 0, \quad (2)$$

де  $a_0$  – амплітудне відхилення осцилятора вліво від положення рівноваги  $x=0$ , а горизонтальна вісь  $Ox$  спрямована вправо.

При цьому вважаємо, що виконується умова руху

$$a_0 > a_* = \left( \frac{fmg}{c} \right)^{\frac{1}{2n+1}}.$$

Тут  $2a_*$  – ширина області застою, зумовлена тертям Кулона.

Розглянемо перший розмах, коли  $t \in (0; t_1]$ ;  $\dot{x} \geq 0$ ;  $-a_0 \leq x \leq a_1$ . На цьому проміжку часу  $\operatorname{sign}(\dot{x})=1$  і (1) зводиться до рівняння першого порядку:

$$v \frac{dv}{dx} = -fg - \frac{c}{m} x^{2n+1}, \quad (3)$$

у якому  $v = \dot{x}$  – швидкість руху.

Проінтегрувавши (3), знаходимо його розв’язок з точністю до сталої  $C_1$ :

$$v = \sqrt{2} \left( C_1 - \frac{c}{2(n+1)m} x^{2n+2} - fgx \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Розв’язок (4) задовольняє умовам (2), коли

$$C_1 = \frac{ca_0^{2n+2}}{2(n+1)m} - fga_0.$$

Отже формула швидкості (4) набуває вигляд:

$$v = \sqrt{2} \left[ \frac{c}{2(n+1)m} (a_0^{2n+2} - x^{2n+2}) - fg(a_0 + x) \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Осцилятор зупиниться в кінці першого розмаху при  $x = a_1$ . Тому, згідно з (5):

$$\frac{c}{2(n+1)m} (a_0^{2n+2} - a_1^{2n+2}) - fg(a_0 + a_1) = 0. \quad (6)$$

Це нелінійне рівняння для визначення амплітудного відхилення  $a_1$  системи вправо на першому розмасі.

Структура рівняння (6) збережеться і для інших розмахів. Узагальнивши (6), одержуємо:

$$\frac{c}{2(n+1)m} (a_{j-1}^{2n+2} - a_j^{2n+2}) - fg(a_{j-1} + a_j) = 0; \quad (7)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots$$

Тут  $j$  – номер розмаху.

Щоб знайти рекурентне співвідношення між  $a_j$  і  $a_{j-1}$ , потрібно розв’язати рівняння (7). Одержання аналітичного розв’язку можливе лише у двох випадках  $n=0$  і  $n=1$ .

При  $n=0$  одержуємо відому залежність [6], [7]:

$$a_j = a_{j-1} - \frac{2fgm}{c}. \quad (8)$$

Різниця  $a_j - a_{j-1}$  не залежить від амплітуд розмахів, що властиво лінійно-пружній системі.

При  $n=1$  (7) зводиться до кубічного рівняння:

$$a_j^3 - a_{j-1}a_j^2 + a_{j-1}^2a_j + b - a_{j-1}^3 = 0, \quad (9)$$

де  $b = \frac{4fgm}{c}$ .

Користуючись відомим розв'язком Кардано [8], із (9) знаходимо:

$$a_j = \sqrt[3]{-q_j + \sqrt{q_j^2 + p_j^3}} + \sqrt[3]{-q_j - \sqrt{q_j^2 + p_j^3}} + \frac{a_{j-1}}{3}. \quad (10)$$

$$\text{Тут } q_j = \frac{1}{2} \left( b - \frac{20}{27} a_{j-1}^3 \right); \quad p_j = \frac{2}{9} a_{j-1}^2.$$

У випадку нелінійно-пружної системи різниця  $a_j - a_{j-1}$  залежить від амплітуди  $a_{j-1}$ , тобто темп згасання коливань залежить від значень амплітуд і зокрема від початкового відхилення  $a_0$ .

При  $n > 1$  рівняння (7) доводиться розв'язувати наближеними методами. Розглянемо декілька з таких способів.

1. Якщо коливання згасають повільно, внаслідок малого коефіцієнта тертя, то відношення

$$\frac{\delta_j}{a_{j-1}} = \frac{a_{j-1} - a_j}{a_{j-1}} \ll 1.$$

Тоді, розгорнувши  $a_j^{2n+2}$  в біноміальний ряд, з точністю до  $(\delta_j / a_{j-1})^2$ , одержуємо:

$$a_{j-1}^{2n+2} - a_j^{2n+2} = \left[ (2n+2) \right] \frac{\delta_j}{a_{j-1}} - (n+1)(2n+1) \frac{\delta_j^2}{a_{j-1}^2} + O \left( \frac{\delta_j^3}{a_{j-1}^3} \right).$$

Підставивши цей вираз в (7) наближено приходимо до квадратичного рівняння, що має розв'язок:

$$\delta_j = A_j - \sqrt{A_j^2 - B_j}. \quad (11)$$

$$\text{При цьому } A_j = \frac{1}{2n+1} \left( a_{j-1} + \frac{fmg}{ca_{j-1}^{2n}} \right); \quad B_j = \frac{4fmg}{(2n+1)ca_{j-1}^{2n-1}}.$$

Обчислене по формулі (11) значення  $\delta_j$  можна уточнити повторним використанням (11). Для цього треба додатково знайти

$\lambda_j = 1 - \frac{2n}{3} \cdot \frac{\delta_j}{a_{j-1}}$ , потім  $A_j = A_j / \lambda_j$ ;  $B_j = B_j / \lambda_j$  і скориговані

значення  $A_j, B_j$  підставити в (11).

Далі легко знайти амплітуду  $a_j$  по рекурентній формулі:

$$a_j = a_{j-1} - \delta_j. \quad (12)$$

У випадку  $n=0$ :  $A_j = a_{j-1} + \frac{fmg}{c}$ ;  $B_j = \frac{4fmg}{c} a_{j-1}$  і формули (11), (12) зводяться до залежності (8).

Рівняння (7) з більш високою точністю можна розв'язувати методом ітерацій. Розглянемо два варіанти цього методу.

2. Елементарними перетвореннями рівнянню (7) надаємо вигляд:

$$a_j = \left[ a_{j-1}^{2n+1} - 2(n+1) \frac{fmg}{c} \cdot \frac{a_{j-1} + a_j}{a_{j-1}^{n+1} + a_j^{n+1}} \right]^{\frac{1}{n+1}}. \quad (13)$$

При  $n=0$  формула (13) переходить в (8). Для більших  $n$  із (13) одержуємо ітераційну формулу:

$$a_{jk+1} = \left[ a_{j-1}^{n+1} - 2(n+1) \frac{fmg}{c} \cdot \frac{a_{j-1} + a_{jk}}{a_{j-1}^{n+1} + a_{jk}^{n+1}} \right]^{\frac{1}{n+1}}, \quad (14)$$

в якій  $k = 1, 2, 3, \dots$  – номер ітерації.

За початкове наближення доцільно взяти:

$$a_{j1} = \left[ a_{j-1}^{n+1} - 2(n+1) \frac{fmg}{c} \cdot \frac{1}{a_{j-1}^n} \right]^{\frac{1}{n+1}}. \quad (15)$$

Підставивши його у праву частину в (14), знаходимо  $a_{j2}$ , потім  $a_{j3}$  і т.д., поки не буде досягнута задана точність.

3. Нелінійне рівняння (7) можна також розв'язувати відомим методом Ньютона, що характеризується швидкою збіжністю процесу ітерацій. У відповідності з цим методом:

$$a_{jk+1} = \frac{(2n+1)a_{jk}^{2n+2} + a_{j-1}^{2n+2} - ba_{j-1}}{(2n+2)a_{jk}^{2n+1} + b}, \quad (16)$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots$

За початкове наближення  $a_{j1}$  можна брати  $a_{j1} = a_{j-1}$  або обчислювати його по формулі (15).

Зазначимо, що окрім наведених, при розв'язуванні (7) можна використовувати й інші числові методи [9].

Зупинимось далі на обчисленні тривалостей розмахів у часі  $t_j$ .  
Виходячи з того, що:

$$t_j = \int_{-a_{j-1}}^{a_j} \frac{dx}{\nu(x)}, \quad (17)$$

Підставимо в (17) узагальнений вираз (5):

$$\nu(x) = \sqrt{2} \left[ \frac{c}{2(n+1)m} (a_{j-1}^{2n+2} - x^{2n+2}) - fg(a_{j-1} + x) \right]^{1/2}.$$

Після переходу до безрозмірної змінної інтегрування, одержуємо:

$$t_j = \frac{\sqrt{(n+1)m}}{\sqrt{c}a_{j-1}^n} \cdot \int_{-1}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}}. \quad (18)$$

$$\text{Тут } 2\lambda_j = \frac{1 - \eta_j^{2n+2}}{1 + \eta_j}; \quad \eta_j = \frac{a_j}{a_{j-1}}; \quad \xi = \frac{x}{a_{j-1}}; \quad \xi = 1, 2, 3, \dots$$

Аналітичне обчислення інтегралів в (18) можливе лише для  $n=0$  і воно приводить до відомої формули:

$$t_j = \pi \sqrt{\frac{m}{c}},$$

коли тривалість усіх розмахів однакова і не залежать від амплітуд коливань та від початкового відхилення  $a_0$  осцилятора від положення рівноваги.

При  $n > 0$  інтеграл в (18) доводиться знаходити числовими методами на комп'ютері. В додаток до нього можна запропонувати двобічну аналітичну оцінку:

$$t_j^* < t_j < t_j^{**}. \quad (19)$$

До нижньої межі:

$$t_j^* = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{c}} \cdot \frac{\sqrt{n+1}}{a_{j-1}^n} \left[ \frac{\sqrt{\pi}}{n+1} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2} + \frac{1}{2}\right)} - \frac{\pi}{2} + \arcsin \eta_j \right] \quad (20)$$

приводить використання виразів:

$$\int_{-1}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}} > \int_{-1}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1 - \xi^{2n+2}}};$$

$$\int_{-1}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2}}} = \int_{-1}^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2}}} - \int_{\eta_j}^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2}}};$$

$$\int_{\eta_j}^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2}}} < \int_{\eta_j}^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{\pi}{2} - \arcsin \eta_j;$$

$$\int_{-1}^1 \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2}}} = \frac{\sqrt{\pi}}{n+1} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2} + \frac{1}{2}\right)},$$

де  $\Gamma(z)$  – гама-функція.

Верхню межу:

$$t_j^{**} = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{c}} \cdot \frac{\sqrt{n+1}}{a_{j-1}^n} \left[ \frac{\sqrt{\pi}}{\eta_j^n (n+1)} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2} + \frac{1}{2}\right)} + \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\lambda_j - \eta_j}{1 - \lambda_j} \right] \quad (21)$$

одержали, прийнявши до уваги, що:

$$\int_{-1}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}} =$$

$$= \int_{-1}^{-\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}} + \int_{-\eta_j}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}};$$

$$\int_{-1}^{-\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}} < \int_{-1}^{-\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^2 - 2\lambda_j(1+\xi)}} =$$

$$= \int_{-1}^{-\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{(1-\lambda_j)^2 - (\xi + \lambda_j)^2}} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{\lambda_j - \eta_j}{1 - \lambda_j};$$

$$\int_{-\eta_j}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{1-\xi^{2n+2} - 2\lambda_j(1+\xi)}} < \int_{-\eta_j}^{\eta_j} \frac{d\xi}{\sqrt{\eta_j^{2n+2} - \xi^{2n+2}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\pi}}{(n+1)\eta_j^n} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2n+2} + \frac{1}{2}\right)}.$$

Розглянемо результати розрахунків з використанням викладеної теорії. Для проведення обчислень приймали  $m=3$  кг;  $f=0,2$ ;  $a_0=0,06$  м. При  $n=1$  (кубічна нелінійність) задавали  $c=10^6$  Н/м<sup>3</sup>, а при  $n=0$  (лінійна пружина)  $c=3600$  Н/м. Вказані значення  $c$  забезпечували рівність значень відновлюючої сили у стартовому положенні, створюваних лінійною і нелінійною пружинами. Отже, для порівняння коливальних процесів, виходили з однакових стартових умов.

Результати обчислень амплітуд розмахів різними способами при  $n=1$  записано в табл. 1. В другому стовпці таблиці вказано  $a_j$  до яких приводить формула (10). Наближені значення  $a_j$ , обчислені по формулі (11) відповідно з уточненням і без нього наведено в стовпцях три і чотири. В двох останніх стовпцях таблиці розмістили амплітуди розмахів, одержані ітераційними методами, з проведенням чотирьох ітерацій.

Таблиця 1

**Результати обчислень  $a_j$  різними способами при  $n=1$**

$j$	Значення $100 a_j$ , м				
	формула (10)	формула (11)	формула (11)	формула (14)	Формула Ньютона (16)
1	5,6536	5,6536	5,6522	5,6536	5,6536
2	5,2587	5,2587	5,2548	5,2587	5,2587
3	4,7937	4,7939	4,7844	4,7937	4,7937
4	4,2159	4,2168	4,1919	4,2159	4,2159
5	3,4164	3,4234	3,3192	3,4164	3,4164
6	1,8606	–	–	1,8607	1,8606

Порівняє показує, що формула (11) з уточненням забезпечує задовільну точність, а при проведенні чотирьох ітерацій по формулі (14) або по формулі (16) одержуємо практично точні результати.

Про швидкість збіжності ітерацій можна робити висновок за даними розрахунків в табл. 2 і табл. 3.



Таблиця 2

**Результати ітерацій по формулі (14) при  $n=1$** 

$k$	Значення $100 a_j$ , м					
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
1	5,6539	5,5291	4,7946	4,2180	3,4232	1,9114
2	5,6536	5,2587	4,7937	4,2161	3,4170	1,8672
3	5,6536	5,2587	4,7937	4,2159	3,4164	1,8614
4	5,6536	5,2587	4,7937	4,2159	3,4164	1,8607

Таблиця 3

**Результати ітерацій по формулі (16) при  $n=1$** 

$k$	Значення $100 a_j$ , м					
	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
1	5,6817	5,2969	4,8495	4,3074	3,6019	2,5375
2	5,6536	5,2591	4,7946	4,2186	3,4287	2,0266
3	5,6536	5,2587	4,7937	4,2159	3,4164	1,8719
4	5,6536	5,2587	4,7937	4,2159	3,4164	1,8606

Розрахунки підтверджують, що при малих  $j$  маємо дуже швидко збіжність ітерацій, а зі зростанням  $j$  вона дещо сповільнюється.

З метою порівняння темпів затухання коливальних процесів в осциляторах з різними нелінійностями в табл. 4 наведено значення амплітуд розмахів, обчисленні при  $n=0$  (формула 8).

Таблиця 4

**Результати обчислень  $a_j$  при  $n=0$** 

$j$	$100 a_j$ , м	$j$	$100 a_j$ , м	$j$	$100 a_j$ , м
1	5,673	7	3,711	13	1,749
2	5,346	8	3,384	14	1,422
3	5,019	9	3,057	15	1,095
4	4,692	10	2,730	16	0,768
5	4,365	11	2,403	17	0,441
6	4,038	12	2,076	18	0,114

Як бачимо, при  $n=0$  маємо повільніше затухання коливань,

ніж при  $n=1$ . Кількість розмахів до повної зупинки осцилятора з лінійною пружністю, значно більша, ніж в осцилятора з кубічно-нелінійною пружиною, бо незважаючи на однакові стартові умови, у другому випадку значно ширша область застою. Якщо при  $n=0$   $2a_* = 3,27 \cdot 10^{-3}$  м, то при  $n=1$   $2a_* \approx 3,61 \cdot 10^{-2}$  м. Тому осцилятор з кубічно-нелінійною пружиною попадає в область застою значно раніше, ніж осцилятор з лінійною пружиною.

При  $n=0$  тривалості розмахів у часі однакові і становлять  $t_j \approx 0,0907$  с, незалежно від  $j$ . При  $n=1$  значення  $t_j$  залежать від  $j$ . Це підтверджують результатами обчислень, записані в табл. 5.

Таблиця 5

**Тривалості розмахів та їх оцінки**

$j$	$t_j, \text{с}$	$t_j^*, \text{с}$	$t_j^{**}, \text{с}$	$\frac{1}{2}(t_j^* + t_j^{**}), \text{с}$
1	0,110	0,093	0,128	0,111
2	0,118	0,097	0,139	0,118
3	0,127	0,102	0,155	0,129
4	0,142	0,109	0,179	0,144
5	0,166	0,116	0,228	0,172
6	0,220	0,117	0,432	0,275

Вказані значення  $t_j$  одержали по (18) числовим інтегруванням на комп'ютері, а їх оцінки обчислені по формулах (20) і (21). Спостерігається зростання  $t_j$  зі збільшенням  $j$  і виконуються нерівності (19). Півсума  $(t_j^* + t_j^{**})$  близька до  $t_j$ .

Вище припускали, що рух осцилятора спричинений початковим відхиленням його від положення рівноваги на  $a_0$ . Але викладена теорія без суттєвих змін може бути використана і тоді, коли рух спричинений миттєвим початковим імпульсом  $m\dot{x} = m\nu_0$  при  $x=0$ . У цьому випадку константа  $C_1$  в (4) дорівнює  $0,5\nu_0^2$ , тому:

$$\nu(x) = \sqrt{2} \left( \frac{\nu_0^2}{2} - \frac{c}{2(n+1)m} x^{2n+2} - fgx \right)^{1/2}. \quad (22)$$

Коливальний рух осцилятора можливий лише при виході його

із області застою, тобто при:

$$v_0 > v_0^* = \sqrt{2} \left( \frac{c}{2(n+1)m} a_*^{2n+2} + fga_* \right)^{1/2}.$$

Користуючись (22), легко знайти ту початкову швидкість  $v_0$ , що забезпечує задане амплітудне відхилення  $a_0$ , бо:

$$v_0 = \sqrt{2} \left( \frac{c}{2(n+1)m} a_0^{2n+2} + fga_0 \right)^{1/2}.$$

Для прийнятих вище числових даних маємо  $v_0^* = 0,098$  м/с;  $v_0 = 2,134$  м/с при  $n=0$  і  $v_0^* \approx 0,298$  м/с;  $v_0 \approx 1,548$  м/с при  $n=1$ .

Щоб звести дію початкового імпульсу до еквівалентного початкового відхилення, тобто знайти  $a_0$  по відомому  $v_0$ , доводиться розв'язувати алгебраїчне рівняння:

$$a_0^{2n+2} + 2\alpha_n a_0 - \beta_n = 0, \quad (23)$$

у якому  $\alpha_n = \frac{fg(n+1)m}{c}$ ;  $\beta_n = \frac{(n+1)m}{c} v_0^2$ .

Аналітичний розв'язок (23) можливий лише при  $n=0$ . Він приводить до формули:

$$a_0 = \sqrt{\alpha_0^2 + \beta_0} - \alpha_0,$$

де  $\alpha_0 = \frac{fmg}{c}$ ;  $\beta_0 = \frac{m}{c} v_0^2$ .

У випадку  $n > 0$  рівняння (23) доводиться розв'язувати числовими методами.

**Висновки.** Дослідження показало, що для розрахунку амплітуд вільних коливань нелінійно пружного осцилятора з сухим тертям можна використати перший інтеграл нелінійного диференціального рівняння руху. Розрахунки показали, що темп затухання коливань і область застою залежать від степеня нелінійності пружності. Збільшення показника степеня призводить до розширення області застою та зменшення кількості розмахів, спричинених початковим відхиленням осцилятора від положення рівноваги.

### Список літератури

1. Ларин А.А. Очерки истории развития теории механических колебаний / А.А. Ларин. – Севастополь: Вебер, 2013. – 403 с.

2. Митропольский Ю.А. Избранные труды: в 2 т. / Ю.А. Митропольский. – Киев: Накова думка, 2012. – 504 с

3. Аврамов К.В. Нелинейная динамика упругих систем. Модели, методы, явления в 2 т. / К.В. Аврамов, Ю.В. Михлин. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. – Т1 – 716 с.

4. Шатохин В.М. Анализ и параметрический синтез нелинейных силовых передач машин / В.М. Шатохин. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 456 с.

5. Пукач П.Я. Якісні методи дослідження нелінійних коливальних систем / П.Я. Пукач. – Львів: Львівська політехніка, 2014. – 288 с.

6. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Дрофа, 2004. – 591 с.

7. Ольшанський В.П. Динаміка дисипативних осциляторів / В.П. Ольшанський, Л.М. Тіщенко, С.В. Ольшанський. – Харків: Міськдрук, 2016. – 264 с.

8. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

9. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельников. – М.: Бином, 2001. – 630 с.

## **Аннотация**

### **ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С СУХИМ ТРЕНИЕМ**

*Рассмотрены колебания осциллятора с сухим трением при степенной зависимости восстанавливающей силы от перемещения системы. Установлено, что затухание амплитуд размахов, их количество, а также продолжительность размахов во времени зависит от значения показателя нелинейности и от амплитуд колебаний системы. Выведены формулы для вычислений амплитуд размахов и их продолжительности во времени. Приведены примеры расчетов.*

**Ключевые слова:** *свободные затухающие колебания, сухое трение, нелинейно-упругий осциллятор.*

## **Abstract**

### **DYNAMICS OF NONLINEAR ELASTIC OSCILLATORS WITH DRY FRICTION**

*Oscillations of an oscillator with dry friction are considered with a power-law dependence of the restoring force on the displacement of the system. It was found that the damping of the amplitude of the ranges, their number, as well as the duration of the ranges in time, depends on the value of the nonlinearity index and on the amplitudes of the oscillations of the system. Formulas are derived for calculating the amplitudes of the ranges and their duration in time. Examples of calculations are given.*

**Key words:** *free damped oscillations, dry friction, nonlinear elastic oscillator.*

**УДК 621.793; 538.73; 538.9**

### **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПУТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛА**

**Спольник А.И., д. физ.-мат. н., проф., Гайдусь А.Ю., к.т.н., доц., Калиберда Л.М., доц.**

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка)*

*Рассмотрены некоторые аспекты адгезионного взаимодействия, которые имеют отношение к процессу трения в узлах механизмов и машин пищевой и перерабатывающей промышленности. В рамках электронной теории конденсированного состояния проанализирована роль межатомного взаимодействия поверхностных атомов твердых тел в процессе адгезии. Проанализировано влияние ряда покрытий на силу трения контактирующих тел. Показано, что адгезию и силу трения значительно уменьшают покрытия из карбидов и нитридов d-переходных металлов IV-VI групп.*

**Введение.** Обеспечение предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности современным и высокотехнологичным отечественным оборудованием является необходимым условием роста конкурентоспособности выпускаемой продукции, сохранения продовольственной безопасности страны и развития экспортного потенциала. Улучшение эксплуатационных

характеристик механизмов и машин для перерабатывающей промышленности обеспечивает возможность производства продуктов питания и переработки сельскохозяйственной продукции с меньшими издержками. Износ деталей узлов трения является одной из основных причин снижения ресурса механизмов и машин перерабатывающей промышленности. Насущной задачей является повышение надежности и снижение эксплуатационных затрат путем разработки новых способов обеспечения работоспособности изделий в течение всего периода эксплуатации.

Физико-химические процессы при трении играют определяющую роль. На сближенных контактных поверхностях возникают адгезионные связи, роль которых в процессе трения очень велика, но недостаточно изучена. *Адгезионное взаимодействие* независимо от температуры характеризует процессы нормального трения (чем выше адгезия, тем выше коэффициент трения) и износа. Адгезия играет существенную роль при эксплуатации деталей узлов трения, особенно деталей, работающих в экстремальных условиях -высокие скорости, нагрузки, температуры, плохие условия смазывания трущихся поверхностей. Эти условия зачастую имеют место в механизмах и машинах перерабатывающей промышленности [1].

**Анализ литературных данных.** Из литературы известно, что процесс внешнего трения характеризуется двумя важнейшими факторами: неизбежностью упругой и пластической деформаций поверхностных объемов трущихся тел и их разрушения (механический фактор) и неизбежностью адгезионного взаимодействия поверхностей трения (молекулярный фактор) [2]. Эти факторы тесно взаимосвязаны, и выделить роль одного можно лишь условно. Наиболее слабо изучен вопрос адгезионного взаимодействия. В последние годы этому взаимодействию исследователи стали уделять больше внимания [3], однако ясных представлений о механизме адгезии до сих пор нет.

**Цель работы.** Целью работы является рассмотрение некоторых аспектов адгезионного взаимодействия твердых тел, которые могут оказывать существенное влияние на процесс трения в узлах механизмов и машин.

**Основной материал.** Рассмотрим некоторые аспекты адгезионного взаимодействия твердых тел, которые имеют отношение к механизму явления.

1. Адгезия возникает при столь сильном сближении

поверхностей, когда между ними начинают проявляться силы межатомного взаимодействия. Большую роль при трении играет адгезия, возникающая в результате пространственного перекрытия валентных орбиталей контактирующих поверхностей. Взаимодействие поверхностей при этом может носить химический характер, как при хемосорбции или протекании химической реакции. Характерная энергия связи атома в этом случае на порядок выше, чем при физической адгезии.

Природу химической адгезии, как и других явлений, в основе которых лежит межатомное взаимодействие поверхностных атомов твердых тел, можно понять только в рамках электронной теории конденсированного состояния. Вместе с тем в окончательном виде такая теория еще не создана. Наилучшим образом удастся объяснить наблюдаемые закономерности при использовании концепции конфигурационной локализации [4], которая удачно сочетает положительные стороны атомной и одноэлектроннозонной моделей твердого тела.

2. Движущая сила как физической, так и химической адгезии — стремление системы к минимуму свободной энергии. В идеальном случае, когда в результате контакта двух одинаковых твердых тел происходит их полное сцепление и граница между телами исчезает, уменьшение свободной энергии равно сумме энергий приведенных в соприкосновение поверхностей:  $E_{п1} + E_{п2}$  – В реальном случае граница всегда существует и может быть охарактеризована граничной энергией  $E_{гр}$ . Выигрыш в свободной энергии  $\Delta E$  при адгезии в этом случае следующий:

$$\Delta E = E_{п1} + E_{п2} - E_{гр}. \quad (1)$$

Чем больше  $\Delta E$ , тем при прочих одинаковых условиях вероятнее адгезия. О влиянии  $\Delta E$  на интенсивность адгезионного взаимодействия свидетельствует большой экспериментальный материал [5].

Поскольку поверхностная энергия твердого тела находится в прямой зависимости от энергии межатомных связей (когезионной прочности), можно было бы ожидать, что адгезия должна увеличиваться при переходе от веществ со слабыми межатомными связями к веществам с более сильными межатомными связями. Вместе с тем сообщается, что при трении одноименных металлов в вакууме коэффициент трения уменьшается в ряду Ti, Zr, Ta, Fe, Cr, Mo, Pt, Pd, Re, Rh, Ru; при трении в паре с SiC коэффициент трения

уменьшается в ряду: Ti, Zr, Fe, Ni, Co, W, Re, Ru [6]. Можно убедиться, что порядок в указанных рядах соответствует увеличению вклада  $d$ -орбиталей в металлическую связь, что равносильно повышению поверхностной энергии. Противоречие можно усмотреть также в том, что окислы на поверхности  $d$ -переходных металлов, также имеющие большую поверхностную энергию, значительно снижают адгезию. Таким же образом влияют на адгезию карбиды и нитриды  $d$ -переходных металлов IV-VI групп, которые составляют основу покрытий на режущих инструментах.

Указанные противоречия кроются, по-видимому, в том, что выигрыш в свободной энергии не является единственным фактором, определяющим интенсивность адгезионного взаимодействия.

Для реализации химической адгезии необходимо пространственное перекрытие валентных орбиталей атомов контактирующих поверхностей. Вероятность пространственного перекрытия валентных орбиталей ( $W_{по}$ ) должна увеличиваться при сближении контактирующих тел, которое возможно за счет увеличения сжимающего контртела нагрузки, а также за счет увеличения температуры контакта, обеспечивающей повышение энергии тепловых колебаний атомов (а значит и амплитуды этих колебаний), увеличения диаметра валентных орбиталей. Вероятность  $W_{по}$  может быть также увеличена за счет удаления и предотвращения образования на контактирующих поверхностях окисных пленок, за счет совместной пластической деформации, приводящей в соприкосновение поверхности контртел, а также за счет дополнительной активации поверхностей электронной бомбардировкой, электромагнитным излучением (рентген, -лучи, ультрафиолет) и другими воздействиями.

При анализе взаимодействия двух поверхностей целесообразно иметь в виду два предельных случая:

1) подводимой энергии оказывается достаточно для пространственного перекрытия орбиталей с  $W_{по} \sim 1$ . В этом случае работа адгезии определяется вероятностью обобществления электронов, которая будет увеличиваться с увеличением выигрыша в свободной энергии системы  $\Delta E$ ;

2) подводимой энергии недостаточно для пространственного перекрытия орбиталей ( $W_{по}$ ), в связи с чем, несмотря на большой энергетический выигрыш, который можно было бы получить в результате адгезии, работа адгезии будет невелика.

Высокая стабильность локализованных конфигураций и малый



статистический вес нелокализованных электронов в таких соединениях как TiN, TiC, а также в большинстве окислов, определяют малую вероятность перекрытия валентных орбиталей при трении, что и обуславливает сравнительно низкую адгезию этих соединений с контртелом и их эффективность при использовании в качестве покрытий на рабочих поверхностях узлов трения.

3) Анализ работ в области технологии износостойких покрытий для режущих инструментов показывает, что особое внимание уделяется покрытиям на основе нитридов и карбидов  $d$ -переходных металлов IV-VI групп периодической системы элементов (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W), характеризующихся высокими значениями температуры плавления, твердости, теплостойкости [7]. Этот комплекс важных характеристик соединений перечисленных металлов определяется особенностями их электронной структуры, в частности, высоким статистическим весом стабильных электронных конфигураций  $sp^3$  и  $s^2p^6$ , обуславливающих межатомные связи «металл-неметалл», и конфигураций  $d^5$ , обеспечивающих межатомные связи «металл - металл». Основным свойством износостойкого покрытия является его низкая адгезионная активность по отношению к основному материалу. С повышением температуры в связи с дестабилизацией и разрушением связей «металл - неметалл» адгезионная активность покрытий возрастает и покрытия на основе TiN и TiC мало эффективны.

При высоких температурах более эффективными оказываются покрытия HfC, HfN, ZrC, ZrC. Известно, что соединения на основе гафния и циркония имеют и более высокую, чем соединения титана, температуру плавления; это, в соответствии с теорией [4]. Различие между соединениями титана, с одной стороны, и циркония и гафния, с другой, состоит в том, что цирконий и тем более гафний имеют по сравнению с титаном более высокие значения главного квантового числа, от которого существенно зависит высокотемпературная стабильность  $d^5$ -конфигураций.

4) Результаты изучения работы адгезии жидких Al, Fe и Si к карбидам  $d$ -переходных металлов IV-VI групп показывают, что на адгезию существенно влияет также количество электронов на  $d$ -уровне изолированного металлического атома соединения [4]. По мнению авторов конфигурационной модели вещества, этот параметр во многом определяет как интенсивность межатомных связей в соединениях, так и кинетические их свойства. Очень важно, что

влияние количества электронов на 2-ом уровне изолированного металлического атома на весь спектр соединения имеет немонотонный характер. Это открывает широкие технологические возможности для создания покрытий, как с высокой, так и с низкой адгезионной активностью.

**Результаты.** Фазовый анализ полученных покрытий показывает, что все они состоят главным образом из твердого раствора Mo в нитриде титана.

По сравнению с нелегированным покрытием TiN, в легированных покрытиях малые, до 6% (мас.) и большие, > 21% (мас.) концентрации молибдена соответствуют большей адгезионной активности покрытий, а концентрации молибдена от 6 до 21% (мас.) — меньшей адгезионной активности покрытий.

Полученный результат свидетельствует о том, что за счет введения в покрытие TiN молибдена удастся регулировать высокотемпературную стабильность  $d^5$ -конфигураций (за счет большего квантового числа молибдена и за счет изменения средней концентрации электронов на ( $d$ -уровне металлического атома).

Возможность регулирования адгезионной активности материала путем целенаправленного его легирования позволяет «конструировать» многослойные покрытия, в которых ближайшие к подложке слои должны обеспечивать высокую адгезию покрытия к подложке, а внешние слои покрытия — низкую адгезию покрытия по отношению к обрабатываемому материалу.

### Список литературы

1. Сухенко Ю.Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: Підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко; під ред. професора Ю.Г. Сухенка. – К.: НУХТ, 2010. – 547 с.

2. Мацевитый В.М. Электронная структура карбидов, нитридов и оксидов d-переходных металлов IV –VI групп и их адгезионная активность / В.М. Мацевитый, И.Б. Казак, К.В. Вакуленко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2006, № 1/2, с. 85-89.

3. Мацевитый В. М. Физико-технические аспекты адгезии твердых тел / В. М. Мацевитый, И. Б. Казак, К. В. Вакуленко . – Київ : Наукова думка, 2010 . – 253 с.

4. Самсонов Г. Б. Конфигурационная модель вещества. / Г. Б. Самсонов, И. Ф. Прядко, Л. Ф.Прядко - Киев: Наук, думка, 1971. -

229 с.

5. Самсонов Г. В. Проблемы создания неорганических веществ и материалов с заданными свойствами / Конфигурационные представления электронного строения в физическом материаловедении. - Киев: Наук, думка, 1977. - С. 5-15.

6. Бекли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. - Москва: Машиностроение, 1986. - 360 с.

7. Погребняк А.Д. Защита от трения и износа с помощью многокомпонентных нанокompозитных покрытий на основе титана / А.Д. Погребняк, Ф.В. Пшик, В.М. Береснев, Б.Р. Жоллыбеков // Трение и износ. - 2014, Т.35, №1.- С.72-86.

### **Анотація**

#### **ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ ШЛЯХОМ ЗМЕНШЕННЯ АДГЕЗІОННОЇ АКТИВНОСТІ МАТЕРІАЛУ**

*Розглянуто деякі аспекти адгезійної взаємодії, які мають відношення до процесу тертя в вузлах механізмів і машин харчової та переробної промисловості. В рамках електронної теорії конденсованого стану проаналізована роль міжатомної взаємодії поверхневих атомів твердих тіл в процесі адгезії. Розглянуто вплив ряду покриттів на силу тертя контактуючих тіл. Показано, що адгезію і силу тертя значно зменшують покриття з карбідів і нітридів d-перехідних металів IV-VI груп.*

### **Annotation**

#### **INCREASING WEAR RESISTANCE OF FRICTION UNITS BY DECREASING ADHESIONAL ACTIVITY OF MATERIAL**

*Some aspects of the adhesive interaction that are related to the friction process in the nodes of the mechanisms and machines of the food and processing industry are considered. In the framework of the electronic theory of condensed matter, the role of interatomic interaction of surface atoms of solids in the adhesion process is analyzed. The effect of a number of coatings on the friction force of contacting bodies is considered. It was shown that adhesion and friction force are significantly reduced by coatings of carbides and nitrides of d-transition metals of groups IV-VI.*

УДК 681.518

**ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСЦИПЛІНИ  
«ЕЛЕКТРОННА КОМЕРЦІЯ ТА ДЕРЖАВНІ ЗАКУПІВЛІ»  
ПРИ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ-МАГІСТРІВ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ ПЕРЕРОБНИХ  
І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Бредихін В.В., к.т.н., доц., Коваленко С.М., к.т.н., доц.,  
Денисенко С.А., к.т.н., доц., Чалий І.В., к.т.н., доц.**  
*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*У статті аналізуються доцільність використання дисципліни «Електронна комерція і державні закупівлі» при підготовці студентів-магістрів навчально-наукового інституту переробних і харчових виробництв. Ключові слова: електронна комерція, компетенції, підготовка студентів, інформаційні технології, сучасний бізнес.*

**Постановка проблеми.** Основна мета компетентнісного підходу полягає у забезпеченні конкурентоспроможності випускників на сучасному ринку праці, формуванні у студента професійних та соціально-особистісних якостей, які б дозволили йому повністю реалізувати свій інтелектуальний потенціал. Цей підхід лежить в основі розроблення стандартів вищої освіти України [1-3].

Раніше згідно європейського проекту TUNING [4-6], компетентності були поділені на спеціальні предметні (фахові) та загальні. Хоча проєкт визнає важливість формування і розвитку спеціальних предметних знань і навичок як основи університетських програм на здобуття ступеню, він підкреслює, що також необхідно приділяти час і увагу розвитку загальних компетентностей. Вони стають все більш важливі в належній підготовці студентів до їхньої майбутньої ролі у суспільстві як громадян та фахівців, що користуються попитом на ринку праці [6].

Після докладних досліджень було складено список із 85 різних загальних компетентностей. Вони були визнані значущими для вищих навчальних закладів та компаній. Проєкт виділяє три типи загальних компетентностей: інструментальні, міжособистісні, системні. Кінцевий варіант включав найбільш важливі 30

компетентностей з усіх трьох типів. Символічно, що серед ключових інструментальних компетентностей, якими повинен володіти кожний європеєць, виділяються перш за все компетенції: "елементарні навички роботи з комп'ютером" та "навички управління інформацією (уміння знаходити та аналізувати інформацію з різних джерел)". Навички підприємництва та вміння застосовувати бізнес-знання на практиці формулюються опосередковано переважно серед міжособистостних та системних компетентностей. Найбільш чітко вони сформульовані в системній компетентності: "Ініціативність та дух підприємництва".

Вважається необхідним розглянути, як оптимальніше забезпечити набуття студентами технічних спеціальностей (які при цьому безпосередньо не пов'язані з сучасними інформаційно-комунікаційними технологіями (ІКТ)) навичок сучасного ведення бізнесу і навичок доцільного застосування ІКТ для фахових потреб.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Те, що "підготовка технічних спеціалістів вимагає знання основ економіки (так само як і знання основ технологічних процесів вимагає підготовка студентів економічних спеціальностей), розуміння економічного змісту суспільних процесів, вміння оперативно реагувати на варіації ринкової кон'юнктури" [7] зараз не викликає заперечень. Загальні питання, присвячені різним аспектам навчання бізнес-знанням студентів технічних спеціальностей розглянуті в значній кількості публікацій [7-14].

Так в роботі [11] сказано, що "сучасний стан та тенденції розвитку соціально-економічних відносин у світі в цілому, та в нашій країні зокрема, вимагають наявності достатньо сформованої економічної компетентності у фахівців всіх сфер діяльності". При цьому справедливо відмічено, що фахівець технічних спеціальностей більше зорієнтований на вирішення технічних задач, а його економічної компетентності часто приділяється менше уваги [11].

Чому так відбувається і як вирішувати проблеми формування економічної компетентності студентів та фахівців технічних спеціальностей не є безпосередньою темою нашого дослідження. Тим, хто цікавиться цими питаннями, порадимо звернутися до архівів ресурсу [13], де можна знайти безліч матеріалів на цю тематику, особливо у розділі: "Проблеми методики навчання технологічних дисциплін".

Наостанок звернемо увагу на відоме фундаментальне видання [14], де розглядаються основні особливості та методологія

управління виробничо-господарською діяльністю інженерної служби саме агропідприємств. Посібник буде корисним бакалаврам і магістрам, що навчаються у вищих навчальних закладах III-IV рівнів акредитації, спеціалістам АПК, слухачам закладів підвищення кваліфікації та науково-педагогічним працівникам. Зокрема там відмічається, що "у процесі вивчення дисципліни "Інженерний менеджмент" майбутні фахівці повинні засвоїти світову тенденцію розвитку механізованих технологій, техніки та організації виробництва і переробки аграрної продукції; технічного та виробничо-технологічного сервісу; рівні змісту та критерії управління виробничо-технічними ресурсами в АПК; організаційними формами та методами їх реалізації на підставі моделювання на ПЕОМ; правилами торгівлі сільськогосподарською технікою та матеріально-технічними ресурсами".

Загальні питання, що присвячені різним аспектам навчання навичками доцільного застосування сучасних ІКТ для фахових потреб студентів технічних спеціалістів загальновідомі, розглянуті в величезній кількості публікацій і зараз вже не викликають будь яких суперечок у фахівців.

Звернемо лише увагу на один із цікавих напрямів можливого досягнення успіху у забезпеченні набуття студентами і навичок сучасного ведення бізнесу і навичок доцільного застосування ІКТ для фахових потреб. Поряд із самостійною роботою, індивідуалізацією навчання, рішенням може стати синергія в організації навчання в університеті [15-18]. В цих роботах центральною є слухна думка, що насамперед "нові інформаційні й комунікаційні технології дозволяють втілити на практиці реальну інтеграцію навчальних дисциплін, знайти точки дотику між загальноосвітніми й спеціальними дисциплінами і, тим самим, здійснити інтеграцію різних освітніх областей і ідею міждисциплінарних зв'язків"[15].

Питання, що торкаються безпосередньо практичних аспектів вибору дисциплін для підготовки студентів технічних спеціальностей, які можуть забезпечити одночасне комплексне оволодіння розглянутими вище компетенціями, розглянуті не достатньо, тому тему статті можна вважати актуальною.

**Метою статті** є аналіз основних складових дисципліни «Електронна комерція та державні закупівлі» при підготовці студентів-магістрів технічних спеціальностей, які забезпечують одночасне комплексне оволодіння і компетенціями, що пов'язані з сучасними

інформаційно-комунікаційними технологіями (ІКТ), і питаннями сучасного ведення бізнесу.

**Виклад основного матеріалу.** Як в затверджених стандартах [2], так і в проектах [3] для бакалаврів і магістрів з спеціальностей навчально-наукового інституту переробних і харчових виробництв (ННІ ПХВ) ХНТУСГ імені П. Василенка (спеціальність 133 "Галузеве машинобудування" та спеціальність 181 "Харчові технології"), цілі навчання також базуються на забезпеченні оволодіння системою компетентностей. На момент виходу цієї роботи були затверджені стандарти спеціальності 133, тому ми візьмемо її за основу. Аналіз переважної більшості стандартів для технічних спеціальностей показав, що компетентності стосовно ІКТ та бізнес-знань випускників різних технічних та технологічних спеціальностей доволі схожі.

Серед загальних компетентностей стосовно доцільного застосування сучасних ІКТ для фахових потреб відмітимо загальні: "Здатність застосовувати інформаційні та комунікаційні технології" та "Здатність шукати та опрацьовувати інформацію з різних джерел". Багато речей стосовно застосування різних розділів ІКТ є серед спеціальних (фахових, предметних) компетентностей.

Серед компетентностей стосовно навичок підприємництва та вміння застосовувати бізнес-знання для фахових потреб відмітимо також фахові компетентності: "Здатність використовувати знання на засадах комерційної та економічної діяльності", а також "Здатність розробляти плани й проекти, спрямовані на досягнення поставленої мети і зорієнтовані на наявні ресурси, розпізнавати та керувати чинниками, що впливають на витрати у планах і проектах".

Проаналізуємо діючі навчальні плани бакалаврів та магістрів з спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" з точки зору наявності та змісту дисциплін, які забезпечують засвоєння навичок сучасного ведення бізнесу і навичок доцільного застосування ІКТ для фахових потреб.

Відомо, що інформаційні технології стрімко розвиваються, і без їх негайного впровадження вже неможливо ефективно готувати сучасних фахівців, управляти складним виробництвом, яким є сучасна сільськогосподарська галузь. Надання студентам під час навчання якісної наскрізної комп'ютерної освіти вже давно реалізується при навчанні студентів у ХНТУСГ [19,20].

Все це знайшло свою реалізацію в підходах, які використовуються при відповідній підготовці студентів у ННІ ПХВ.

Так чи інакше можливості сучасних інформаційних технологій використовуються освітянами університету при викладанні більшості дисциплін бакалаврату та практично всіх дисциплін у магістрів. Найбільш комплексно і системно вони вже декілька років застосовуються при освоєнні таких курсів магістратури як: "Прикладні комп'ютерні технології", "Проектування обладнання ПХВ"; "Основи розрахунку і конструювання обладнання"; "Машинно-апаратні лінії ПХВ"; "Інжиніринг в АПВ"; "Моделювання технологічних процесів". З урахуванням відповідних дисциплін бакалаврату можливо вважати, що цього достатньо.

Стосовно дисциплін економічного спрямування, то це: "Основи економічних теорій", "Виробнича практика" (окремі розділи), "Економічне обґрунтування інженерних рішень", "Маркетинг", "Організація виробництва ПХВ" (окремі розділи), "Основи підприємництва та відкриття власної справи" і, нарешті, для магістрів - "Менеджмент".

Чи можна вважати ці набори дисциплін для досягнення інтегративної цілі формування академічних і професійних профілів компетентностей, що розглядаються нами в статті оптимальними? Вочевидь, що не в повній мірі. Дисципліни ІТ-спрямування практично зовсім не мають бізнес-спрямування, а дисципліни економічного пулу носять в більшості доволі академічну налаштованість, часто "відірвані" від типових практичних фахових задач АПК і недостатньо використовують досягнення сучасних ІКТ. Відчувається нестача інтегрованої дисципліни, яка, так би мовити, робила наголос на отриманні студентом певної сукупності ІТ та бізнес-компетентностей, особливо наприкінці отримання вищої освіти у студентів-магістрів.

Такою дисципліною, на нашу думку, повинна стати дисципліна «Електронна комерція та державні закупівлі». Її мета - надання студентам знань про сучасний рівень розвитку електронної комерції, одержання теоретичних знань і практичних навичок по використанню її засобів для потреб переробної галузі, ознайомлення з її основними технологіями й методами їх застосування, формування у студентів теоретичних і практичних знань зі здійснення публічних закупівель. Пріоритетними напрямками в цьому курсі є знання щодо безпечного виконання ділових операцій та угод з споживачами та постачальниками з використанням електронних засобів, одержання навичок роботи в мережі Інтернет з метою пошуку комерційної інформації, вивчення різних методів



ведення бізнесу у глобальній мережі, реклами, просування й продажу товарів, практичних навичок зі здійснення публічних закупівель у відповідності з потребами переробної галузі.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен вміти:

- вільно використовувати основні поняття та терміни з електронної комерції та публічних закупівель в роботі за фахом;
- вибирати основний інструментарій електронної комерції та публічних закупівель для роботи за фахом;
- створювати сайт нескладного інтернет-магазину за допомогою систем управління контентом сайтів, шаблонів інтернет-магазинів (для зручної реалізації продуктів переробки та продовольчих товарів);
- забезпечувати елементарний захист інформації в системах електронної комерції, які використовує фахівець у роботі;
- реалізовувати товари, що виробляються та здійснювати закупівлі в електронній системі публічних закупівель ProZorro;
- здійснювати інноваційне інформаційне забезпечення комерційної, маркетингової, логістичної, рекламної діяльності підприємств переробної галузі;
- користуватися технологіями по просуванню й оптимізації веб-сайту системи електронної комерції;
- користуватися деякими прийомами інтернет-маркетингу.

Отже, з наведеного зрозуміло, що дисципліна «Електронна комерція та державні закупівлі» оптимально забезпечує одночасне набуття студентами технічних спеціальностей і навичок сучасного ведення бізнесу і навичок доцільного застосування ІКТ для фахових потреб.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** При розробці і модифікації навчальних програм надзвичайно важливо, щоб університет враховував зміни в потребах суспільства, а також наявні на поточний момент та майбутні можливості з працевлаштування. Дисципліна «Електронна комерція та державні закупівлі» може посприяти отриманню студентом певної сукупності компетентностей, відповідає цілям відповідної освітньої програми, оптимально завершує підготовку магістрів з питань сучасного ведення бізнесу і доцільного застосування ІКТ для фахових потреб.

### **Список літератури**

1. Методичні рекомендації щодо розроблення стандартів вищої освіти. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/metodichni-rekomendaciyi-vo>.

2. Науково-методична рада Міністерства освіти і науки України. Затверджені стандарти вищої освіти. [Електронний ресурс] – <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzeni-standarti-vishoyi-osviti>.

3. Науково-методична рада Міністерства освіти і науки України. Проекти стандартів вищої освіти. [Електронний ресурс] – <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/proekti-standartiv-vishoyi-osviti>.

4. Tuning Educational Structures in Europe. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.let.rug.nl/TuningProjekt/index.htm>.

5. Сборник основных документов по Болонскому процессу. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/compendium\\_of.pdf](http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/compendium_of.pdf).

6. Вступне слово до Проекту ТЬЮНІНГ - гармонізація освітніх структур у Європі внесок університетів у Болонський процес. Проект Тьюнінг підтриманий Європейською комісією через програми Сократ і Темпус (дирекція з освіти і культури). [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.unideusto.org/tuningeu/images/stories/documents/General\\_Brochure\\_Ukrainian\\_version.pdf](http://www.unideusto.org/tuningeu/images/stories/documents/General_Brochure_Ukrainian_version.pdf).

7. Яковенко Р.В. Основи теорії економіки для технічних спеціальностей: Навчальний посібник. – Кіровоград: „Поліграф-Сервіс”, 2009. – 120 с.: іл.

8. Архієреєв С.І. Основи економічної теорії: навчально-методичний посібник для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання / за редакцією проф. С. І. Архієреєва, доц. Н. Б. Решетняк – Х.: НТУ «ХП», 2010. – 76 с.

9. Основи економічних знань : навчальний посібник / редактор А. С. Гальчинський, П. С. Єщенко, Ю. І. Палкін. – К. : Вища школа, 2002.

10. Словник економіста та підприємця / А.М. Туренко, І.А.Дмитрієв, О.С. Іванілов, І.Ю. Шевченко. – Х.: ХНАДУ, 2018. – 340 с.

11. Антонюк Д. С. Формування економічної компетентності студентів та фахівців технічних спеціальностей у процесі розроблення бізнес-симуляції економічного спрямування / Д.С. Антонюк // Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. – Кропивницький: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2017.

12. Антонюк Д. С. Економічна компетентність студентів

технічних спеціальностей та її структурні компоненти/Д. С. Антонюк // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. – 2017. – Вип. 47. – С. 5-17.

13. Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – Кропивницький: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/NZ-PMFMTO/issue/archive>.

14. Мельник І. І., Тивоненко І. Г., Фришев С. Г. та ін. Інженерний менеджмент / За ред. І. І. Мельника. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2007. – 536 с.

15. Панкратова О. П. Проектирование междисциплинарной технологии обучения студентов в условиях информатизации образовательного процесса вуза. Автореф. дис. канд. пед. наук. Ставрополь, 2004. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dissercat.com/catalog/pedagogicheskie-nauki/teoriya-i-metodika-professionalnogo>.

16. Буданов В.Г. Синергетические стратегии в образовании. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sky.kuban.ru/socioetno/iphrRAS/~mifs/stbudan.htm>.

17. Богомоллов О.В., Мегель Ю.С., Денисенко С.А., Чалий І.В. Досвід співпраці викладачів різних кафедр університету при викладанні окремих курсів студентам-магістрам спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв» / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: Сучасні напрямки технології та механізації переробних і харчових виробників. Вип. 152. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – с.12-17.

18. Тодорова Н.Ю. Міжкафедральна синергія у викладанні іноземної мови професійного вжитку. Донецький національний технічний університет. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.academia.edu/5755786/\\_11\\_11\\_2009](http://www.academia.edu/5755786/_11_11_2009).

19. Мазоренко Д.І., Тіщенко Л.Н., Романов В.О., Гавріков В.Г., Чалий І.В. Інформатизація і освітні технології у Харківському ДТУСГ. Інформаційний вісник: Вища аграрна освіта України №5, березень, 2000. – С. 5-6

20. Інформаційно-комп'ютерна підготовка інженерів механіків (сучасні вимоги та забезпечення); /Збірник науково-методичних праць ХНТУСГ, 2006 р. «Удосконалення університетської освіти в контексті Європейської інтеграції»: ХНТУСГ, Харків, 2006. Тіщенко° Л.М., Чалий І.В., Лютинський В.Л.

## **Аннотация**

### **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОННАЯ КОММЕРЦИЯ И ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЗАКУПКИ» ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ-МАГИСТРОВ УЧЕБНО-НАУЧНОГО ИНСТИТУТА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*В статье анализируются целесообразность использования дисциплины «Электронная коммерция и государственные закупки» при подготовке студентов-магистров учебно-научного института перерабатывающих и пищевых производств. Ключевые слова: электронная коммерция, компетенции, подготовка студентов, информационные технологии, современный бизнес.*

## **Abstract**

### **EXPEDIENCY OF USE OF THE DISCIPLINE "ELECTRONIC COMMERCE AND STATE PURCHASES" WHEN TRAINING STUDENTS-MASTERS OF THE EDUCATIONAL AND FOOD PRODUCTION PROCESSING INSTITUTE**

*The article deals with the analysis of some examples of collaboration of lectures from different university departments during the teaching of particular courses to the master students of "Processing and food production equipment" specialty. Key words: e-commerce, competencies, student training, information technologies, modern business.*

**УДК621.793; 538**

### **ДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ АНАЛІЗУ ТА СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ**

**Богомолов О.В., д.т.н., проф., Кісь В.М., к.т.н., доц.,  
Лук'янов І.М., к.т.н., доц., Акіншин В.В., Довженко Д.І.,  
Шуліка Д.Ю., Новіков С.С., студенти,  
(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)**

**Богомолов О.О., аспірант  
(Луганський національний аграрний університет)**

*Проаналізовано принципи аналізу та сепарації зернових сумішей, що засновані на відмінності фізико-механічних властивостей компонентів та питомі витрати енергії на процес*

*сепарації зерноочисних машин. Запропоновані схема алгоритму аналізу та сепарації зернових сумішей традиційними засобами сепарації та схема алгоритму аналізу та сепарації важкороздільних зернових сумішей засобами сепарації розробленими в останній час.*

**Ключові слова:** *зернові суміші, енергоємність сепарації, схема алгоритму аналізу та сепарації.*

**Постановка задачі.** В зерні та насінні сільськогосподарських культур після збирання залишається значна кількість насіння бур'янів, органічних та мінеральних домішок. Звісно, що наявність в зерновій суміші різного роду домішок значно знижує його якість, тому своєчасне його очищення це умова його кількісно-якісного збереження та використання, як сировини для харчової промисловості. Вибір схеми очищення завжди є нелегкою задачею, тому, що надто багато вхідних параметрів для вирішення цієї задачі причому одним з найважливіших в останній час стає енергоємність процесу сепарації.

**Метою досліджень** є розробка алгоритму аналізу та сепарації зернових сумішей в тому числі важкороздільних.

**Аналіз останніх досліджень.** Принципи поділу зернових сумішей засновані на відмінності фізико-механічних властивостей часток суміші [1-4]. Основні фізико-механічні властивості наступні: довжина, ширина, товщина, форма, аеродинамічні властивості, пружність, коефіцієнт тертя, шорсткість, питома вага, електрофізичні властивості, колір, вологість. При виборі способу поділу суміші в першу чергу враховують ті ознаки, за якими забезпечується найбільш повний поділ вихідної суміші на фракції із заданими показниками якості.

Для дослідження фізико-механічних властивостей застосовують статистичні методи, виражаючи результати вимірів у вигляді варіаційних рядів або варіаційних кривих.

Багатьма вченими встановлено, що для розв'язку в кожному конкретному випадку питання про можливість поділу суміші недостатньо вивчати варіації кожної ознаки окремо, а необхідно визначити кореляцію ознак, і на підставі цього, вибрати схему сепарації.

По суті, у більшості зерноочисних машин, що випускаються промисловістю, і технологічних ліній по очищенню зерна та насіння і використовується цей метод.

Питанням зниження енергоємності при переробці й зберіганні

зерна присвячені роботи багатьох учених. У більшості цих робіт розглядаються питання зниження енергоємності при сушінні, зберіганні й здрібнюванні зерна, а також при переміщенні повітряних потоків у зернопереробних виробництвах [5-8].

Питання зниження енергоємності процесів і устаткування для сепарації зернових сумішей практично не вивчалися. Традиційно на перше місце ставилося питання продуктивності і якості сепарації зернової суміші незалежно від питомої витрати енергії. При цьому питання енергоємності процесу сепарації були поставлені лише в декількох роботах [9, 10].

У роботі [10] розглядалася доцільність коливань не решетного робочого органа сепаратора, а зерна на решеті. І хоча в цій роботі розглядаються питання підвищення ефективності сепарації за рахунок пульсуючого повітряного потоку, за допомогою якого зерно струшується на нерухливій решеті, ідея зниження енергоємності сепарації шляхом додання коливань тільки зерну викладена вже в самій назві роботи – «дайте решету спокій». У роботі не наведений КПД пристрою для створення пульсуючого повітряного потоку й, можливо, що енергоємність цього пристрою не нижче чим на коливальному решеті. Очевидно, що ідея струшувати тільки зерно на решеті може дозволити знизити енергоємність процесу сепарації, але в роботі про це навіть не згадується. Це свідчить про те, що питанням зниження енергоємності в колишньому СРСР значення не надавалося.

Для зниження енергоємності процесу сепарації можна використовувати резонанс. Динаміка вібраційних машин резонансного типу розглянута в роботі [11]. Правда, як і в роботі [10] питання зниження енергоємності тут також не розглядаються. Очевидно, що цей метод зниження енергоємності процесу сепарації й устаткування для його здійснення є перспективним, однак не застосовується в розробці конструкцій зерночисних машин в основному через розбіжність режимів, що забезпечують низьку енергоємність процесу і якісне очищення зерна. Більшістю дослідників питання енергоємності процесу сепарації не вивчалися через незначну масу зерна, що перебуває в робочому органі, у порівнянні з масою робочого органа, тому що дійсно основна витрата енергії йде на привод у рух самого робочого органа, без якого процес у переважній більшості сепараторів нездійснений.

**Основні матеріали досліджень.** У табл. 1, складеної з використанням системного підходу [12], наведені продуктивність,

потужність і питомі витрати енергії сучасних зерноочисних машин.

Таблиця 1

**Енергоємність зерноочисних машин**

Найменування машин	Продуктивність, т/час	Потужність, кВт	Питомі витрати енергії, кВт г/т
Універсальні вібровідцентровані сепаратори	25...200	6...15	0,1...0,25
Пневматичні сепаратори	2,5...20	1...3	0,2...0,45
Трисери	5...16	1,2...6	0,3...0,8
Пневно-решітні сепаратори	5...20	4...14	0,7...1,4
Спеціальні машини: падді; пневмосортівальні столи та ін.	0,2...5	1,5...6,6	1,3...7,5

З таблиці випливає, що найменшу енергоємність мають решетні вібровідцентрові сепаратори. Найбільша ж енергоємність у спеціальних зерноочисних машин.

Тобто енергоємність процесів сепарації на існуючій устаткуванні є досить високою. У середньому вона становить близько 1 кВт·години/т. При годовому виробництві зерна в Україні в середньому за останні роки не менше 50 млн. тон витрати електроенергії тільки на попередню та і первинну очистку становитимуть не менше 100 млн. кВт годин.

Особливо висока енергоємність машин спеціального призначення для сепарації важкороздільних зернових сумішей. У багатьох випадках через відсутність засобів для сепарації важкороздільних зернових сумішей на виробництві використовують багаторазові пропуски сумішей через робочі органи існуючих машин, що приводить, крім збільшення енергоємності, до зниження якості зерна та збільшення втрат зерна у відходи.

При виборі способу сепарації в першу чергу враховують ті ознаки, по яких здійснюється найбільш повний поділ суміші. При цьому бажано враховувати кореляцію ознак та енергоємність

процесу сепарації. На рис. 1 представлено алгоритм аналізу та сепарації зернових сумішей з урахуванням мінімізації енерговитрат на прогрес сепарації традиційними засобами сепарації, тобто на пневморешетно-триєрних зерноочисних машинах.

З використанням традиційних засобів сепарації застосування кореляційних ознак можливо при виборі першого решета, тобто поділу по товщині або ширині. І всеж з точки зору мінімізації енерговитрат сепарацію за розмірами слід починати з використанням решіт з продовгуватими отворами, тобто за товщиною насіння. Це можна пояснити тим, що інтенсивність коливань решітного стану при сепарації на решетах з продовгуватими отворами може бути нижчою за інтенсивність коливань при сепарації на решетах з круглими отворами, тому що для проходу частинки крізь продовгуватий отвір їй достатньо повернутись набік, а щоб пройти крізь круглий отвір частинка повинна бути підкинута на решеті так, щоб її продольна вісь була перпендикулярна поверхні решета. Іншими словами у першому випадку частинка підкидається на половину її ширини, у другому на половину довжини. Зрозуміло, що інтенсивність коливань у другому випадку повинна бути більшою, а отже на цей процес більші й енерговитрати. Як правило, потім використовується сепарація за аеродинамічними властивостями, на пневматичних сепараторах або ж сепарацію за товщиною та шириною здійснюють одночасно з сепарацією за аеродинамічними властивостями на комбінованих машинах. Потім довжині (трієри) і далі за аеродинамічними властивостями та густиною (каменевідбірні машини й пневматичні сортувальні столи).

Алгоритм аналізу та сепарації важкороздільних зернових сумішей представлено на рис. 2. З рис.2 випливає, що з погляду мінімальних втрат енергії процес сепарації, після сепарації важкороздільних сумішей за розмірами, аеродинамічними властивостями та густиною подальшу сепарацію слід здійснювати на гравітаційних ударних сепараторах за пружними властивостями та формою, гравітаційних сепараторах «Змійка» за формою та коефіцієнтами тертя. Далі на гіраційних сепараторах за аеродинамічними властивостями, розмірами, коефіцієнтами тертя та формою. Потім на віброфрікційних сепараторах за пружними властивостями, коефіцієнтами тертя та формою. І накінець можна рекомендувати сепарацію на сепараторах, що здійснюють сепарацію за кольором частинок суміші. Це сепаратори, які нещодавно з'явилися у продажі на промисловому ринку України, випускаються



вони фірмою ТМ «MEYER». Вартість їх майже на порядок вища за традиційні сепаратори, обслуговування теж але зарекомендували вони себе добре.

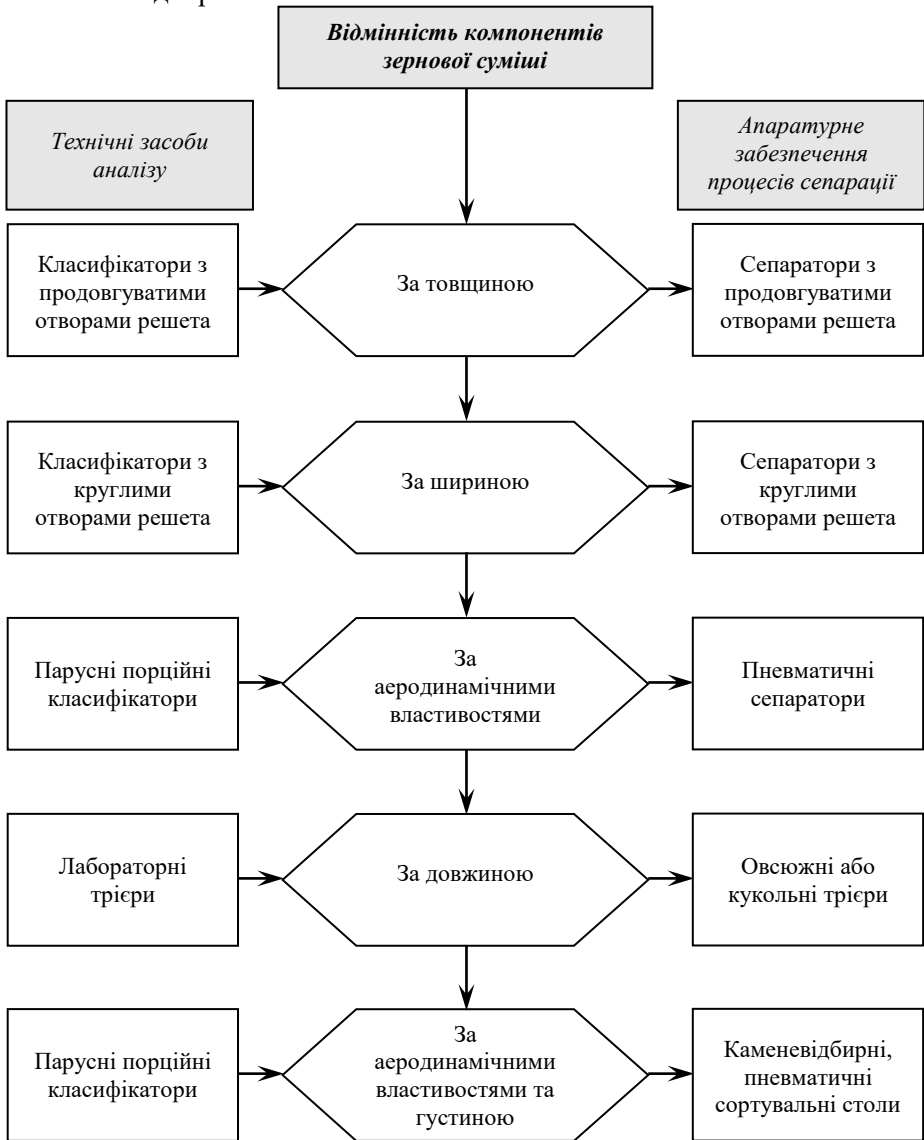


Рис. 1. Схема алгоритму аналізу та сепарації традиційними засобами зернових сумішей

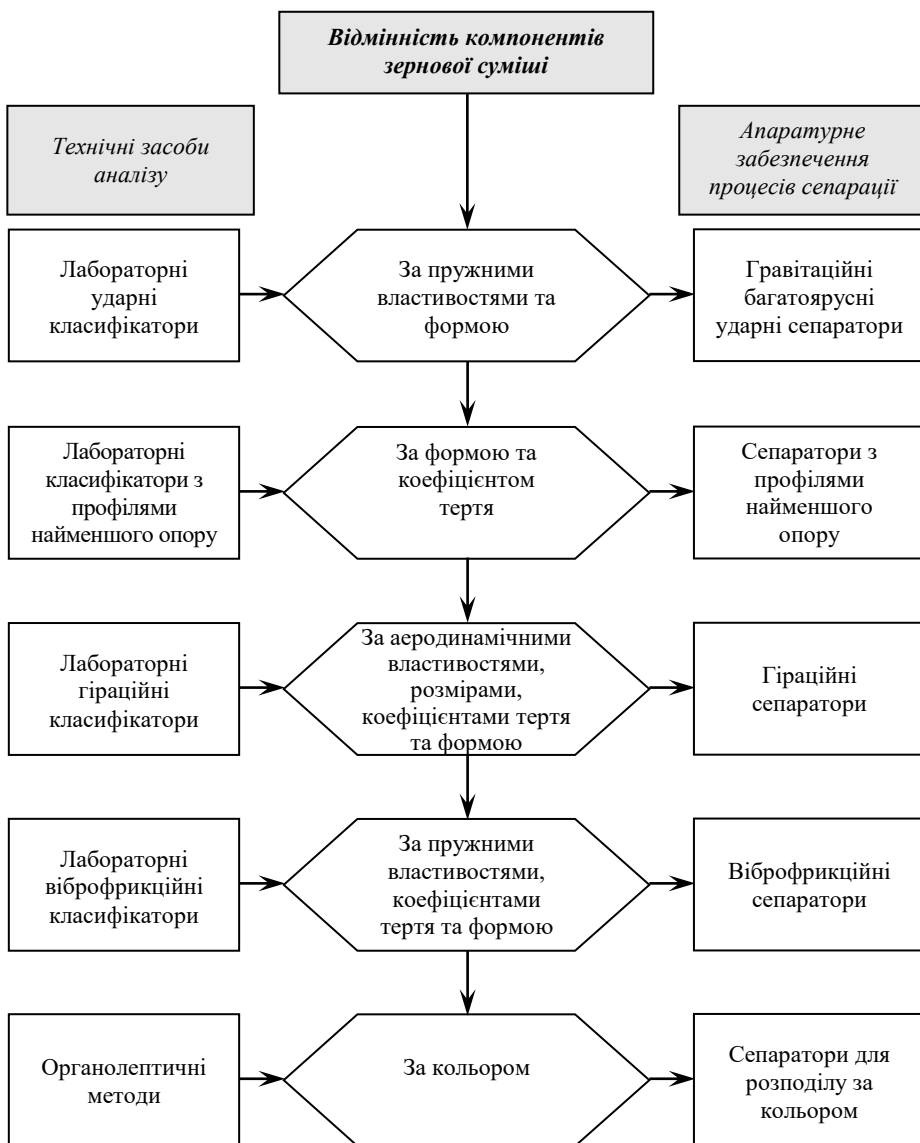


Рис. 2. Схема алгоритму аналізу та сепарації важкороздільних зернових сумішей

**Висновки.** Проведений аналіз фізико-механічних властивостей та засобів сепарації зернових сумішей в тому числі важкороздільних

дозволив розробити алгоритми аналізу та сепарації цих сумішей з урахуванням мінімізації витрат енергії на процес сепарації.

### Список літератури

1. Васильковский М.И., Васильковский А.М., Косинов М.М. и др. К созданию зерноочистительных машин нового поколения // Вісник ХДТУСГ. «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». Вип.22. - Харків: ХДТУСГ, 2003. - с.29-33.

2. Гладков Н.Г. Сепарирование семян сельскохозяйственных культур по свойствам их поверхности: Автореф. дис... докт. техн. наук. - Волгоград, 1964. - 44 с.

3. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. - К.: Изд-во УСХА, 1998. - 625 с.

4. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. - М.: Машиностроение, 1965. - 220 с.

5. Атаназевич. В. Енергоекономна все таки схема сушіння зерна вдень та охолодження вночі. Зерно і хліб. 2006. №1. - с.54.

6. Бурдо. О. Проаналізуємо питомі витрати і невиправдані втрати тепла при сушінні збіжжя. Зерно і хліб. 2006. №1. - с.52 - 54.

7. Гапонюк О.И. Пути снижения энергоемкости зерноперерабатывающих производств //Хранение и переработка зерна. - 2002. - №2. - с.59 - 60.

8. Шаповаленко О.І. Науково-технічні основи функціонування спрямованих повітряних потоків в технології виробництва комбикормів: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.18.02. - 1993. - с.32.

9. Богомолов А.В. Пути снижения энергоемкости и повышения качества работы вибрационных зерноочистительных машин // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічна обґрунтованість у підприємствах харчування. Економічні проблеми торівлі. Зб. наук пр.- 4.1. - Харків: ХДАТОХ, 1998. - с. 143-145.

10. Линь А. Оставьте решето в покое //Изобретатель и рационализатор. 1984. - № 3. - с.22 - 23.

11. Крюков Б.И. Динамика вибрационных машин резонансного типа. - К.: Наукова думка, 1967. - 210 с.

12. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О.Н. Сафонова, Ф.В. Перцевой, О.А. Гринченко, А.Л. Фощан, П.П. Пивоваров А.В. Богомолов, Л.Н. Тищенко, Б.Ч. Гарнцарек.- Харьков: НМЦ ХГТУСХ, 2000.- 200 с.

## **Аннотация**

### **К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА И СЕПАРАЦИИ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ**

*Проанализированы принципы анализа и сепарации зерновых смесей, основанных на различия физико-механических свойств компонентов и удельные затраты энергии на процесс сепарации зерноочистительных машин. Предложенные схема алгоритма анализа и сепарации зерновых смесей традиционными средствами сепарации и схема алгоритма анализа и сепарации важкороздильных зерновых смесей средствами сепарации разработанными в последнее время.*

***Ключевые слова:** зерновые смеси, энергоемкость сепарации, схема алгоритма анализа и сепарации.*

## **Abstract**

### **TO THE DEVELOPMENT OF ANALYSIS ALGORITHM AND SEPARATION OF GRAIN MIXTURES**

*The principles of analysis and separation of grain mixtures are analyzed, based on the differences between the physical and mechanical properties of the components and the specific energy consumption for the separation process of grain cleaning machines. The scheme of the algorithm of analysis and separation of grain mixtures by traditional means of separation and the algorithm of the algorithm of analysis and separation of heavily separated grain mixtures by means of separation developed recently have been proposed.*

***Keywords:** grain mixtures, energy consumption of separation, scheme of algorithm of analysis and separation.*

**УДК 534.1:539.3**

### **К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

**Богомолов А.В., д.т.н., проф., Иркиенко В.И., аспирант**  
*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка)*

*В статье приведены результаты экспериментов по определению разрушающего усилия по раскалыванию зерна пшеницы вдоль по двум направлениям – поперек зерновки и вдоль по бороздке. Установлено, что прочность зерновки расколота вдоль по бороздке*

*меньше чем в поперечном направлении, а следовательно раскол зерна по бороздке менее энергоемкий по сравнению с расколом поперек зерновки.*

**Ключевые слова:** *зерновка, сдвиг, разрушающая нагрузка, площадь сечения скола, предельное напряжение.*

**Постановка задачи.** В мукомольной и крупяной отраслях используется большое количество технологических схем производства муки и крупы из зерна пшеницы. Процесс получения сортовой муки является отработанным и мало чем отличается от традиционного на большинстве крупных мукомольных и крупяных предприятий [1,2]. Малые мукомольно-крупянные предприятия используют укороченные технологические схемы и поэтому качество продукции на этих предприятиях ниже.

В работе [3] обосновывается необходимость повышения конкурентоспособности малых предприятий путем разработки и внедрения новых технологий и оборудования, позволяющих создать продукты с новыми качествами показателями. В этой же работе предложена технология переработки зерна пшеницы для малых предприятий в крупу нового вида и производство муки обойной с низким показателем зольности. Для этого предлагается исходя из морфологического строения зерна пшеницы раскалывать его вдоль бороздки на две половинки с использованием формирователя зернового продукта. Однако в работе не упоминается об энергозатратах при раскалывании его на две половинки, хотя в последние годы это вопрос становится все более актуальным из-за значительного удорожания электроэнергии.

**Анализ последних исследований.** Измельчение является одним из наиболее энергоемких процессов при переработке зерна пшеницы в муку и крупы. Процесс измельчения определяется действием внешних сил, которые вызывают деформацию зерновки и, как следствие, ее разрушение. Известно, что из разных видов нагружения менее энергоемким является сдвиг. Это подтверждено многими исследователями в работах посвященных измельчению зерна [4,5].

Как уже упоминалось морфологическое строение зерна позволяет расколоть его избирательно по бороздке на две части. На рисунке 1 показан продольный срез зерновки после ее раскола по бороздке. По нашему мнению, раскол зерна по бороздке является наименее энергоемким, чем раскол в любом другом направлении, и

следовательно предложенная в [3] новая технология производства крупы и обойной муки из зерна пшеницы кроме улучшенных показателей качества продукции окажется в выигрыше и с точки зрения энергоёмкости.

**Целью работы** является определение разрушающего усилия при сколе (сдвиге) шелушенной зерновки пшеницы по двум направлениям поперек зерновки и вдоль по бороздке.



Рис. 1. Скол зерновки: а) вдоль по бороздке; б) поперек

Исследования проводили с целью уточнения данных о механической прочности зерна высокостекловидной пшеницы сорта "СМУГЛЯНКА" влажностью 14 %. Скол зерновки проводили в разных плоскостях, как вдоль, так и поперек оси зерновки и по полученным результатам экспериментов анализировали зависимости между площадью среза зерновки и разрушающей нагрузкой. Обработку полученных данных выполняли с помощью инструментов анализа в «Excel-2007».

Для проведения экспериментов была создана установка для раскола зерна приведенная на рис. 2. Установка состоит из основания, кронштейна, верхней и нижней планок, пружинного динамометра с фиксатором и крепежа.

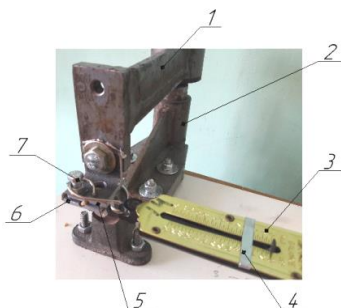


Рис. 2. Устройство для раскола зерна пшеницы: 1 – кронштейн; 2 – основание; 3 – пружинный динамометр; 4 – фиксатор; 5 – верхняя планка; 6 – нижняя планка; 7 – болт

На рис. 3 показано расположение зерна в рабочей ячейке.

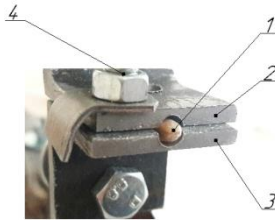


Рис. 3. Зерно в рабочем ячейке: 1 – зерно, 2, 3 – верхняя и нижняя планки; 4 – крепеж

Для определения разрушающей силы  $F_{\text{ср}}$  вдоль зерна по бороздке, зерно 1 (рис. 3) помешали в рабочий канал образованный между верхней 2 и нижней 3 пластинами. Зерно укладывалось таким образом, чтобы плоскость бороздки была параллельна плоскости пластины. К болту 4 крепится динамометр с фиксатором максимальной нагрузки. После этого производили нагружение зерна до полного его разрушения.

После снятия нагрузки показание динамометра фиксируются планкой 4 (рис. 2). Аналогично проводили срез зерновки в канале 5 для определения разрушающей силы  $F_{\text{ср}}$  поперек зерна. Шкала динамометра от 0 до 200 Н, погрешность измерений нагрузки – 5%.

Измерения выполняли в следующей последовательности: фиксировали зерновку в скальвующем канале и при помощи пружинного динамометра нагружали зерновку до полного разрушения. Срез зерновки фотографировали и передавали цифровое изображение в программу «КОМПАС» 3D, где проводили масштабирование по фактическим размерам зерна и с помощью инструментов компаса рассчитывали площади среза.

На рис. 4 приведено фото зерновки после раскола вдоль по бороздке.

Значение срезающих напряжений определяли по формуле:

$$\tau = \frac{F_{\text{ср}}}{S}$$

где  $F_{\text{ср}}$  - величина разрушающей нагрузки, Н;

$S_{\text{ср}}$  – площадь среза зерновки под действием  $F_{\text{ср}}$ , мм<sup>2</sup>.

Зерновая смесь по крупности зерновок неодинакова, поэтому для испытания использовали фракцию проходом через сито 2,8x20 и сходом с сита 2,6x20.

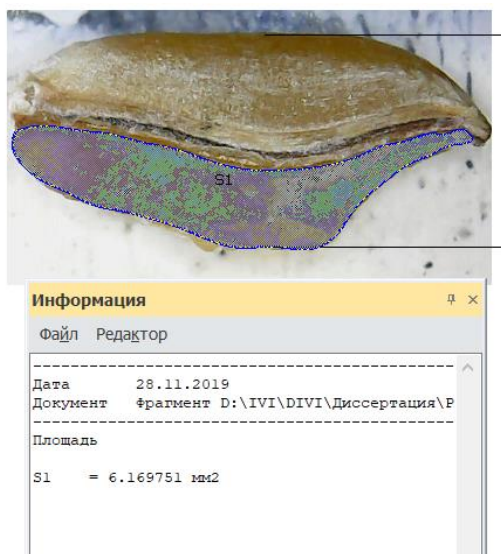


Рис. 4. Фото зерновки после раскола вдоль по бороздке

Статистические характеристики значений разрушающих нагрузок вдоль и поперек зерновки приведены в таблице 1. Анализ этих значений показывает, что их диапазоны отличаются (минимум 22,54Н и 50,97 Н, максимум 37,24Н и 109,76 Н соответственно), а среднее значение нагрузки вдоль составляет 46,4% от средней нагрузки поперек. Статистические характеристики площади среза вдоль и поперек зерновки приведены в таблице 2. В таблице 3 приведены средние значения напряжений и площади среза. Графическое изображение результатов экспериментов в координатах «площадь – нагрузка» (рис. 5, 6) наглядно демонстрирует увеличение нагрузки с увеличением площади. Средние значения разрушающих нагрузок в зависимости от площади поперечного сечения изменяются существенно и по существу зерновкам с большей площадью скола необходимы более высокие усилия, а следовательно и более высокие затраты энергии.

Таблица 1

### Статистические характеристики разрушающей нагрузки

Нагрузка	Число опытов	Предельные напряжения, Н/мм <sup>2</sup>					Станд. ошибка	Станд. отклонение
		Среднее	Медиана	Мода	min	max		
Вдоль	28	29,68	29,4	29,4	22,54	37,24	0,6549	3,4659
Поперек	28	72,38	67,13	58,8	50,96	109,76	3,1718	16,7838



Таблица 2

**Статистические характеристики площади среза.**

Нагрузка	Число опытов	Площадь среза $\text{мм}^2$					Станд. ошибка	Станд. отклонение
		Среднее	Медиана	Мода	min	max		
Вдоль	28	4,05	4,15	4,3	3	5,3	0,0964	0,5106
Поперек	28	7,2189	7,25	7,4	5,77	9,5	0,1706	0,9031

Таблица 3

**Средние значения напряжения и площади среза**

	Средняя площадь $S_{\text{ск.}}$ , мм	Средняя нагрузка $P$ , Н	Среднее напряжение, $\text{Н}/\text{мм}^2$
Вдоль	4,0	29,7	7,4
Поперек	7,2	72,4	10,0

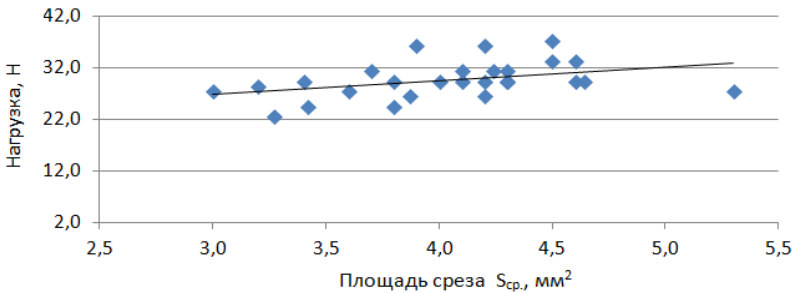


Рис. 5. Зависимость нагрузки от площади среза при разрушении зерновки вдоль бороздки

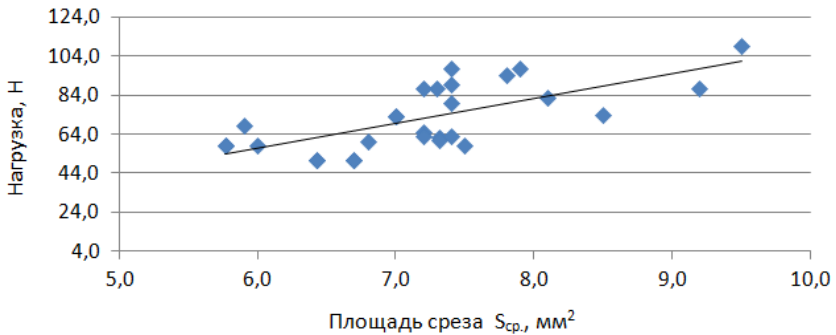


Рис. 6. Зависимость нагрузки от площади среза при разрушении зерновки вдоль бороздки

Уравнение регрессии зависимости нагрузки от площади среза при разрушении зерновки вдоль бороздки имеет следующий вид:

$$y = 2,6726S + 18,862 \quad R^2 = 0,155$$

Уравнение регрессии зависимости нагрузки от площади среза при разрушении зерновки поперек бороздки имеет вид:

$$y = 12,887S - 20,648 \quad R^2 = 0,4809$$

**Выводы.** В результате выполненной работы получены регрессионные зависимости между площадью сечения зерновки и срезающими напряжениями. Установлена слабая зависимость разрушающего усилия от площади скола. Определено, что нагрузка растет с ростом площади скола. Средние значения напряжений для зерна пшеницы расколотовой вдоль зерновки по бороздке составляют  $7,4 \text{ Н/мм}^2$ , средние значения напряжений для зерна пшеницы расколотовой поперек оси зерновки составляют  $10,0 \text{ Н/мм}^2$ , следовательно скол зерна вдоль по бороздке зерна является менее энергоемким.

### Список литературы

1. Мельников Е.М. Технология крупяного производства. -М.: Агропром издат, 1991, с.102-110
2. Оборудование для производства муки и крупы: Справочник/Демский А.Б., Борискин М.А., Веденьев В.Ф., Тамаров Е.В., Чернолихов А.С. -СПБ: Изд-во "Профессия", 2000.-624 с.
3. Новое направление в технологии переработки зерна пшеницы. Богомолов А.В., Иркиенко В.И. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, вип. 194. с. 5-12.
4. Нанка О.В. Способы механического воздействия при измельчении фуражного зерна и их энергетическая оценка. Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1.
5. Исследование работы маятникового деформатора и свойств зерна при измельчении. Злочевский В.А., Борисов А.П., Едакин Н.В. Исследование пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, №1, 2017

### Аннотация

#### ДО ПИТАННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

*У статті наведені результати експериментів по визначенню руйнівного зусилля по розколювання зерна пшениці уздовж по двох*

*напрямах - поперек зернівки і вздовж по борозенці. Встановлено, що міцність зернівки розколотої уздовж по борозенці менше ніж в поперечному напрямку, а отже розкол зерна по борозенці менш енергоємний порівняно з розколом поперек зернівки.*

**Ключові слова:** зерновка, зрушення, руйнівне навантаження, площа перетину відколу, максимальне напруження.

## **Abstract**

### **TO THE QUESTION OF ENERGY CAPACITY OF CUTTING WHEAT GRAIN**

*In experimental data on cracking along the weevil (in a groove) and across the article contains. Analysis of the experiments showed that the strength of grains split along the groove is less than the transverse strength, and hence grain split groove for less energy intensive compared to split transversely weevil.*

**Keywords:** weevil, shift (chipping), load-sectional area of the cleavage, the load.

## **УДК 621.793**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО СЕПАРАТОРА**

**Богомолів О.В., д.т.н., проф., Брагінець М.В., д.т.н., проф.,  
Мозгунов А.Р., Науменко Е.М., Санін М.Ю.,  
Манчич В.В., студенти,**

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

**Богомолів О.О., аспірант, Богомолів В.П., ст.викл.  
(Луганський національний аграрний університет)**

*Розглянуті питання пошуку шляхів удосконалення конструкції гравітаційного ударного сепаратора. Запропоновано нове технічне рішення, яке забезпечує підвищення якості сепарації за рахунок збільшення кількості ударів зерна об відбивні поверхні, та підвищення продуктивності в два рази за рахунок подачі суміші на кожний скат відбивної поверхні.*

**Ключові слова.** Гравітаційний ударний сепаратор, конструкція, удосконалення, якість сепарації продуктивність сепаратора.

**Постановка задачі.** Сепарація зернових, насінневих та інших сипких сумішей здійснюється за різницею фізико-механічних властивостей компонентів суміші.

Це розміри, форма, коефіцієнти тертя, аеродинамічні властивості, щільність, електрофізичні властивості, колір, пружність. Під час вибору способу сепарації враховують в першу чергу ті властивості за різницею яких буде забезпечуватись найбільш повне розділення вихідної суміші при необхідних показниках якості.

**Аналіз останніх досліджень.** Одним з найбільш сталих властивостей компонентів суміші при стандартній вологості є пружність. І в той же час вона є одним з найменш вивчених фізико-механічних властивостей багатьох культур. Відомо також, що найбільш спілі насіння є найменш вологими і найбільш пружними. Більшість насіння бур'янів, як правило, є більш вологими і менш пружними [1]. Для сепарації сумішей компоненти яких відрізняються пружністю використовуються ударні або відбивні поверхні. Більшість сепараторів, що використовують ударні поверхні це сепаратори падді-машини [2].

Основним недоліком цих машин є велика енергоємність. Пояснюється це тим, що в коливальний рух, для надання ударних імпульсів зерну, приводиться весь кузов машини, який включає практично всю машину, за винятком приводу та бункеру. Для приводу в коливальний рух великої маси природно потрібен привід великої потужності.

Цей недолік частково усунуто у сепараторі [3], у якому в коливальний рух приводиться ступенева розділова поверхня з відбійними бортами, яка встановлена на рамі на пружних опорах.

Однак основним недоліком цих сепараторів є низька продуктивність.

Сепаратори, в яких використовуються відбивні поверхні, це так звані гравітаційні сепаратори в яких движучою силою є сила тяжіння [4,5]. Однак незважаючи на очевидні вигоди стосовно енергоємності, сепаратори з відбивними поверхнями широкого розповсюдження не набули. Це пояснюється декількома причинами.

По перше у більшості цих сепараторів розділення суміші здійснюється за рахунок одного удару об відбивну поверхню. А оскільки насіння сільськогосподарських культур мають неоднородну структуру та форму, то і величина відскоку навіть одного і того ж насіння від відбивної поверхні в залежності від того якою точкою воно вдариться об поверхню буде різною а оскільки сепарація на

відбивних поверхнях як раз і здійснюється за величиною відскоку насіння від відбивної поверхні то зрозуміло, що якість сепарації при однократному ударі буде низькою. Більш-менш приємною вона може бути тільки для округлих частинок.

**Метою даної статті** є пошук шляхів удосконалення конструкції багатоярусного ударного сепаратора.

### **Основні матеріали досліджень.**

Якість сепарації можна підвищити якщо збільшити кількість ударів зерна об відбивні поверхні. Під час багатократних ударів більш повніше проявляються пружні властивості зерна і підвищується якість сепарації.

Вперше сепаратор в якому здійснювався процес сепарації на трьох ярусах запропоновано в роботі [4].

І всеж основним недоліком цього сепаратора залишається невисока якість сепарації, тому що як правило трьох випробувань недостатньо для повного проявлення властивостей зерна особливо якщо форма їх різноманітна.

В «пристрої для розподілу зернових матеріалів за пружними властивостями» кількість ударів збільшена до чотирьох [5]. К цьому сепараторі декі встановлені з повздовжню поперечним нахилом ударною стороною одна до одної і зміщені в поперечному напрямку одна нижче іншої, а приймачі продуктів розподілу розташовані уздовж подовжньої осі симетрії. Недоліком цього сепаратора є також невисока якість сепарації. Сутність зазначеного недоліку полягає в наступному.

Процес сепарації в даному сепараторі здійснюється за рахунок гравітаційних сил та пружних властивостей зерна при падінні насіння з декі на деку і зміщенні їх в повздовжньому напрямку в залежності від пружних властивостей.

Більш пружні частки суміші під час удару зміщуються на більшу відстань в продольному напрямку ніж менш пружні. Різниця цих відстаней і є ознакою подільності даної суміші. Ця різниця залежить від кількості дек (ярусів) встановлених в сепараторі, чим їх більше тим краще якість сепарації. Але ж кількість дек обмежена габаритами сепаратора, що й стримує можливість підвищення якості сепарації за рахунок встановлення додаткових дек.

Для підвищення якості сепарації сипких сумішей в багатоярусному ударному сепараторі, [6] ярус створюють пара дек, встановлених симетрично одна до одної з зазором між ними для проходу зерна, а кожний ярус зміщено один до одного в

поперечному напрямку до половини його ширини.

На Рис.1 представлено схему багатоярусного ударного сепаратора.

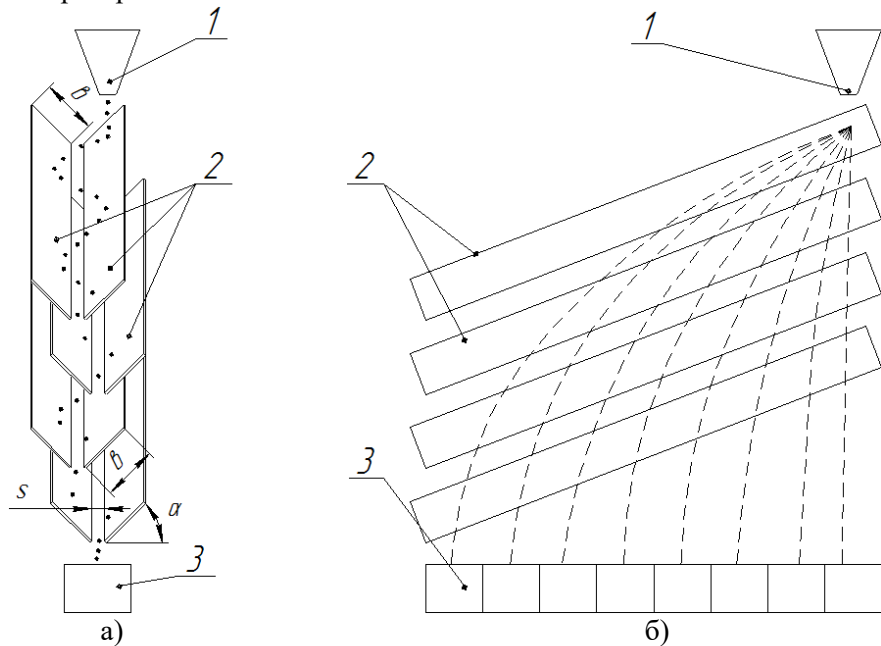


Рис.1. Принципова схема багатоярусного ударного сепаратора:  
а) – вигляд спереду; б) – вигляд збоку

Сепаратор складається з завантажувального пристрою 1; ярусів дек 2; приймачів продуктів розподілу 3.

Сепаратор працює в такий спосіб.

Вихідна суміш з бункера 1 самопливом під дією гравітаційних сил падає на одну з дек верхнього яруса 2 де зерно після удару підскакує догори та завдяки поперечному і подовжньому нахилу деки і зміщується в польоті в поперечному і подовжньому напрямках, потім падає на поруч розташовану деку де знову випробовує удар і знову відскакує на першу деку теж зміщуючись при цьому в поперечному в подовжньому напрямках. Цей процес повторюється декілька разів.

Потім зерно падає на нижчій ярус де цей процес повторюється і так далі поки частки суміші не впадуть з нижчого яруса до приймачів продуктів поділу.

В запропонованій конструкції удосконаленого сепаратора, а

кожний ярус зміщено один до одного в поперечному напрямку на величину не меншу зазору між деками і не більшу за ширину деки помножену на косинус поперечного кута нахилу дек, тобто

$$S < l < b \cdot \cos \alpha,$$

де  $S$  – зазор між деками;

$l$  – зміщення ярусів у поперечному напрямку;

$b$  – ширина деки;

$\alpha$  – поперечний кут нахилу дек.

Завдяки цьому частинки суміші після співударів на верхніх деках не потрапляють в зазор між нижчими деками, а процес сепарації продовжується аналогічно і на нижчих ярусах.

**Висновки.** На відміну від сепараторів, в яких кожна частинка зернової суміші на кожному ярусі випробовує тільки один удар в даному гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі зерно вдаряється по декілька разів вже на кожному ярусі. За рахунок цього якість сепарації в запропонованому сепараторі значно підвищується.

### Список літератури

1. Богомоллов А.В. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Монография. Харьков: ХНТУСХ им.П.Василенка. 2013. – 308 с.

2. Г.Е.Егоров, Е.М.Мельников, В.Ф.Журавлев. Технология и оборудование мукомольно-крупяного и комбикормового производства. – М.: Колос, 1979. – 368 (стр.183)

3. Устройство для разделения зерновых смесей по упругости: А.с. №1526008 СССР, МК В07В13/00 /П.М.Заика, А.В.Козаченко, А.И.Завгородний, А.В.Богомоллов. – № 4162603/29–03; Оpubл.16.12.86. – 4 с.

4. Слухин О.Л. Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автор дис...канд.техн.наук: 05.20.01. / Всероссийский научно-исследовательский и проектно–технологический институт рапса. – Липецк, 1992. – 20 с.

5. Пристрій для розподілу зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. №57958 Україна, МКВ В07 В 13/00. О.В.Богомоллов, Ю.І.Токолов, М.О.Зінченко – №200203187; Заявл. 7.03.2002; Оpubл. 15.07.2003, Бюл. №7. –2 с.

6. Багатоярусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07 В13/00, Богомоллов О.В., Богомоллова В.П. №201014867. Оpubл. 25.08.2011. Бюл. №16. – 4 с.

## **Аннотация**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО МНОГОЯРУСНЫЕ УДАРНОГО СЕПАРАТОРА**

*Рассмотрены вопросы поиска путей совершенствования конструкции гравитационного ударного сепаратора. Предложено новое техническое решение, которое обеспечивает повышение качества сепарации за счет увеличения количества ударов зерна о отбивные поверхности, и повышение производительности в два раза за счет подачи смеси на каждый скат отражательной поверхности.*

**Ключевые слова.** *Гравитационный ударный сепаратор, конструкция, совершенствование, качество сепарации производительность сепаратора.*

## **Abstract**

### **IMPROVEMENT OF THE STRUCTURE OF THE GRAVITATIVE MULTI-LEVEL SHOCK SEPARATOR**

*The questions of search of ways of improvement of design of the gravitational shock separator are considered. A new technical solution is proposed to provide separation quality by increasing the number of grain hits on the reflecting surface and doubling the productivity by feeding the mixture to each slope of the reflecting surface.*

**Keywords.** *Gravity impact separator, design, improvement, separation quality separator performance.*

**УДК 664.692.084:621.979](045)**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА ТИСК ПРЕСУВАННЯ МАКАРОННОГО ТІСТА**

**Богомолів О.В., д.т.н., проф., Гурський П.В., к.т.н., проф.,  
Іващенко С.Г., к.т.н., доц., Токолов Ю.І., ст. викладач**  
*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*Досліджено процес пресування макаронних виробів в полі ультразвуку. Встановлено позитивний вплив ультразвуку на тиск і швидкість пресування макаронного тіста різної вологості, підвищення міцності макаронних виробів, запропоновано механізм застосування ультразвукового впливу для підвищення щільності і якості макаронних виробів. Застосування ультразвуку з амплітудою  $A=30\pm 0,5$  мкм, за тиску  $6\pm 0,5$  МПа і за температури пресування*



*макаронного тіста  $45\pm 2$  °C сприяє підвищенню адгезійної міцності макаронного тіста та підвищенню швидкості пресування, а отже збільшенню продуктивності преса.*

**Ключові слова:** макаронні вироби, швидкість пресування, ультразвукова обробка, підвищення міцності.

## **1. Огляд літературних джерел та постановка задачі.**

Відомо, що в наш час великим попитом у споживачів користуються макаронні вироби, за допомогою яких можна швидко приготувати їжу. Однак, процес пресування макаронних виробів характеризується великими питомими витратами енергії, а питання раціональних витрат енергетичних ресурсів набувають пріоритетного значення [1].

Прилипання тіста до стінок формувальної щілини матриці – основна причина утворення шорсткуватої поверхні (рис. 1) відформованих макаронних виробів: прилиплий пристінний шар тіста залишається нерухливим, другий шар відривається від нього з утворенням надривів і тріщин, які надають поверхні випресованих виробів шорсткість, що знижує їхній товарний вид, зменшує ступінь насиченості жовтого кольору виробів із крупки твердої пшениці, збільшує втрату сухих речовин у процесі варіння виробів (ступінь мутності варильної рідини) внаслідок відриву заусенців від виробів при варінні. Крім того, при в'язкій течії витрачається додаткова механічна енергія на подолання сил зчеплення часток тіста між собою, на відривання тіста від прилиплого до каналу матриці елементарного шару, а також уповільнюється швидкість випресування, тобто знижується продуктивність преса. Тому зменшення прилипання тіста до поверхні формувальних каналів матриці дає значні технічні й економічні вигоди [1, 2].

Під час процесу пресування (рис.1) ультразвукові коливання з частотою 22 кГц передаються концентратором до матриці, яка починає також здійснювати коливання, діючи на макаронне тісто, що пресується. Енергія пресування поглинається шарами тіста під дією ультразвукових коливань, особливо поверхневими шарами. Під час цього в значній мірі зменшується тертя між шарами, усувається нерівномірність розподілу за обсягом частинок пресованого тіста, повітряних пор і напружено-застійних зон. При цьому ущільнення тіста досягає свого максимального значення [2, 3].

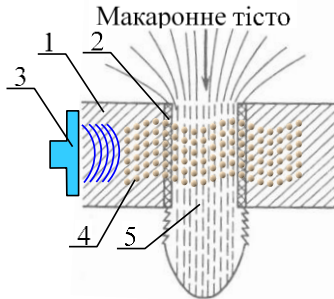


Рис. 1. Схема випресування макаронного тіста через канал філь'єри матриці із застосуванням ультразвукового впливу: 1 – матриця; 2 – філь'єра; 3 – випромінювач ультразвуку; 4 – схема руху поперечних ультразвукових хвиль; 5 – макаронний виріб

Поверхня макаронних виробів за рахунок ультразвукового капілярного ефекту змочується виділеною вологою, що в значній мірі також впливає на зменшення тертя поверхні пресованих виробів з фільєрами матриці [4, 5, 6].

## 2. Мета та задачі дослідження стану води в сирній масі

Метою роботи є встановлення рівня впливу ультразвукових коливань на процес пресування макаронних виробів. Це дозволить встановити раціональний тиск пресування, забезпечить необхідну якість готового продукту і мінімальні втрати маси під час пресування.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- встановити кількісні закономірності впливу ультразвуку на величину тиску пресування макаронного тіста;
- дослідити вплив ультразвуку на швидкість пресування макаронного тіста;
- визначити характеристики ультразвукових коливань.

## 3. Матеріали і методи дослідження процесу

У дослідженнях використовувалося борошно двох гатунків: вищого (крупка) і першого (напівкрупка) зі вмістом сирії клейковини 26% і середньою її якістю /розтяжність 15 см/. Досліджувалось макаронне тісто замісу різної вологості 30...35% з пресуванням його за тиску 4...8 МПа.

Для ультразвукового впливу застосовували високочастотний

ультразвуковий генератор «Хвиля-М» (модель УЗТА-1/ 22-ОРВ), що працює з амплітудою 10-40 мкм, частотою  $22 \pm 0,5$  кГц, інтенсивністю від 1,5...2,0 Вт/см та підсилювач ультразвукових коливань в межах 22...60 кГц. В якості коливальної системи використовувався магнітострикційний перетворювач потужністю до 1 кВт.

#### **4. Результати досліджень процесу пресування макаронного тіста із застосуванням ультразвуку**

У макаронному виробництві найбільш радикальний спосіб практично повного усунення прилипання макаронного тіста до формувальних каналів матриць – виготовлення каналів з матеріалів, до яких тісто не прилипає. Таким матеріалом служить пластмаса тефлон (вітчизняний аналог – фторопласт-4). В наслідок низької міцності тефлону виготовляти матриці повністю з нього не можна, тому використовують різні варіанти установки тефлонових вставок у формувальні щілини металевих матриць.

При формуванні тіста через матриці з тефлоновими вставками макаронні вироби у всіх випадках мають гладку, лискучу поверхню незалежно від якості борошна, вологості й температури тіста. Одержання шорсткуватих виробів шляхом випресування через такі матриці свідчить про зношування тефлонових вставок.

У результаті цього при використанні металевих матриць із бронзи, латуні, нержавіючої сталі, що мають досить високий ступінь адгезії з тістом, збільшення вологості тіста сприяє випресуванню виробів з меншим ступенем шорсткості поверхні.

На перший погляд, збільшення в'язкості тіста, тобто його когезійної міцності, шляхом, зниження його вологості повинне змінити характер руху тіста в каналі матриці від в'язкого протікання до ковзання. Але, як показали експерименти (рис. 2), при зменшенні вологості на 5% міцність адгезії макаронного тіста (крива 3) знижується на 2Н, при цьому, тиск пресування зменшується на 4 МПа. Ультразвукова обробка тіста підвищує міцність адгезії (крива 4) на 1 Н, зберігаючи загальну тенденцію [5, 6].

Однак при формуванні тіста на пресах зниження вологості тіста призводить до збільшення тиску пресування (крива 1), тобто до збільшення тиску контакту тіста з поверхнею формувального каналу й до зниження швидкості випресування сирих виробів, а отже, до збільшення тривалості контакту. При застосуванні ультразвуку спостерігається зменшення тиску пресування на 1,5МПа (крива 2) при загальній тенденції, тобто збільшення швидкості випресування.

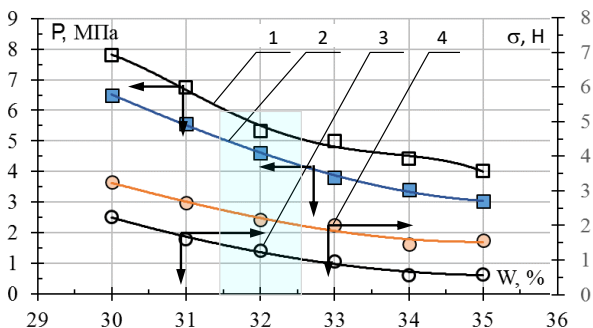


Рис. 2. Залежність тиску випресування – 1 (без ультразвуку); 2 (з ультразвуком) і адгезійної міцності – 3 (без ультразвуку); 4 (з ультразвуком) від вологості макаронного тіста за температури 45°C

Отже, саме ці два параметри – тиск і тривалість контакту – поряд із властивостями тіста (у цьому випадку, його в'язкістю) визначають величину міцності адгезії. Тому при формуванні тіста на пресі зі збільшенням вологості тіста міцність адгезії знижується (крива 2) внаслідок зниження тиску пресування.

Вологість макаронного тіста – один із двох головних параметрів (поряд з температурою тіста), за допомогою яких можна змінювати в певних межах фізичні властивості тіста, сирих макаронних виробів, впливаючи на якість продукції.

Відомо, що збільшення вологості тіста призводить до збільшення товщини сольватних оболонок, які оточують частки борошна в ущільненому тісті, а значить, до зниження когезійної міцності тіста. Внаслідок цього зі збільшенням вологості знижуються в'язкість тіста й міцність сирих виробів, збільшується їхня пластичність [5, 6].

Це важливо при переведенні роботи преса із крупки твердої пшениці на хлібопекарське борошно: для підтримки режиму різання технологічного напівфабрикату на колишньому рівні необхідно збільшити кількість води, що подається в корито преса для замісу тіста. Природно, це відноситься до того випадку, коли вміст води й клейковини в хлібопекарському борошні приблизно таке ж, як і в крупці. Зменшення ж клейковини призводить до зниження пластичності тіста й сирих виробів, що піддаються випресуванню і вимагає додаткового збільшення води в тісті для забезпечення необхідної швидкості випресування (рис. 3).

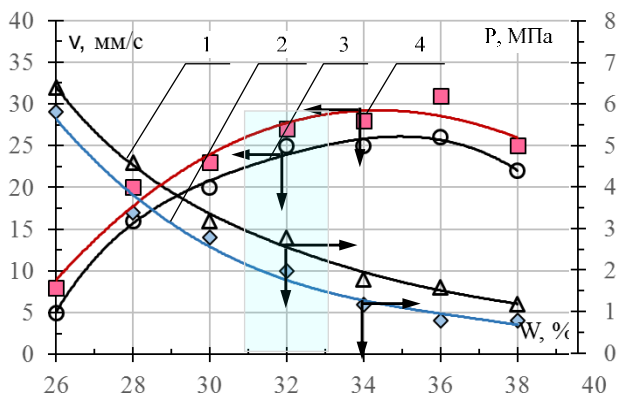


Рис. 3. Залежність тиску пресування – 1 (без ультразвуку); 2 (з ультразвуком) і швидкості – 3 (без ультразвуку); 4 (з ультразвуком) макаронного тіста від його вологості, %

Встановлено (рис. 3), що з підвищенням вологості тіста від 26 до 32% збільшуються пластичність і текучість тіста, полегшується процес його пресування через матрицю. Це призводить до зниження тиску пресування на 5 МПа й до збільшення швидкості випресування на 20 мм/с, тобто до підвищення продуктивності преса. Але така залежність спостерігалася при підвищенні вологості тіста до 32 %. Подальше збільшення вологості макаронного тіста призводить до утворення великих грудок, які погано проходять крізь вхідний отвір шнекової камери. Тому, хоч і спостерігається тенденція підвищення пластичності тіста, погане живлення ним шнекової камери призводить до різкого падіння тиску пресування і, як наслідок, до зниження швидкості випресування. Проведений аналіз показав, що ультразвукові вібрації перспективні в технологічному процесі пресування макаронних виробів. Результати проведених експериментів показують, що ультразвук є ефективним способом впливу на структуру деформованого тіста з поліпшенням його властивостей. Аналізом експериментальних даних встановлено, що використання ультразвуку істотно зменшує тиск при формуванні вязко-пластичних матеріалів, підвищує продуктивність обладнання, покращує якість виробів і знижує витрати енергії [].

### Висновки.

1. Експериментально було доведено, що застосування ультразвуку з амплітудою  $A = 30$  мкм сприяє зменшенню

грудкування тістової маси вологістю 32 % і, як наслідок, підвищенню швидкості пресування на 20 мм/с.

2. Встановлено, що за вологості макаронного тіста 32 %, та температури 45°C раціональним тиском пресування є  $6 \pm 0,5$  МПа при застосуванні ультразвуку з амплітудою  $A=30$  мкм та одночасно сприяє підвищенню адгезійної міцності макаронного тіста і підвищенню швидкості пресування, а отже збільшенню продуктивності макаронного преса.

3. Встановлено деяке збільшення адгезійних властивостей крохмалю з ростом температури його обробки. Це пов'язано, вірогідно, з тим, що при термообробці крохмалю частково порушується його кристалічність, тобто послабляються й руйнуються зв'язки, за допомогою яких полісахаридні ланцюжки зберігали впорядковану структуру; при подальшому ущільненні зерен крохмалю ці зв'язки, що звільнилися, сприяють більш міцному з'єднанню молекул між собою.

### Список літератури

1. Технология макаронного производства: учебное пособие для вузов / Г.А. Осипова. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 152 с.

2. Балдаев Р.В. Применения ультразвука / Балдаев Р. В., Раджендран П. П. -М.: Техносфера, 2006. - 576 с.

3. Акоюн Б.В. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами.- М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. - 224 с.

4. Акоюн В. Б. Ультразвук в производстве пищевых продуктов// Журн. Пищевая промышленность, 2003. - № 4. - с. 68-69.

5. Кобыда Е.В. Интенсификация процессов прессования макаронных изделий в поле ультразвука // Сб. тезисов докладов конгресса молодых учёных. СПб, 2014 .- Вып. 4.- С. 92-94.

6. Кобыда Е.В. Верболоз Е.И., Вороненко Б.А., Вербицкий В.Н. Поглощение ультразвука макаронным тестом при прессовании // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014.- Вып. 1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/8709.pdf>

### Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ДАВЛЕНИЕ ПРЕССОВАНИЯ МАКАРОННОГО ТЕСТА

*Исследован процесс прессования макаронных изделий в поле ультразвука. Установлено положительное влияние ультразвука на*

давление и скорость прессования макаронного теста различной влажности, на повышение прочности макаронных изделий, предложен механизм применения ультразвукового воздействия для повышения плотности и качества макаронных изделий. Применение ультразвука с амплитудой  $A=30\pm 0,5$  мкм, при давлении  $6\pm 0,5$  МПа и при температуре прессования макаронного теста  $45\pm 2$  °C способствует повышению адгезионной прочности макаронного теста и повышению скорости прессования, а следовательно увеличению производительности макаронного пресса.

### **Abstract**

#### **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF ULTRASOUND ON THE PRESS PRESSING OF THE PASTA TEST**

*The process of pasta pressing in the ultrasound field is investigated. Positive influence of ultrasound on pressure and speed of pressing of pasta dough of different humidity, increase of durability of pasta is established, mechanism of application of ultrasonic influence for increase of density and quality of pasta is offered. The use of ultrasound with the amplitude  $A=30\pm 0.5$   $\mu\text{m}$ , at a pressure of  $6\pm 0.5$  MPa and at a pressure of pasta  $45\pm 2$  °C helps to increase the adhesive strength of the pasta dough and increase the speed of pressing, and therefore increase the productivity of the pasta press.*

### **УДК 519.816**

#### **ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, ЗАСНОВАНИЙ НА НЕЧІТКОМУ ЛОГІЧНОМУ ВИВЕДЕННІ**

**Кашеев Л.Б., к.т.н., проф., Коваленко С.В., к.т.н., доц.,**  
(Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»)

**Коваленко С.М., к.т.н., доц., Мегель Ю.Є., д.т.н., проф.,**  
**Путятін В.П., д.т.н., проф., Чалий І.В., к.т.н., доц.**  
(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)

*У статті запропонований підхід до оцінки якості упаковки харчових продуктів, що заснований на застосуванні системи нечіткого логічного виведення. Зазначений підхід дозволяє проводити оцінку якості продукції будь-якої природи.*

**Постановка задачі.** Якість продуктів харчування та питання кількісного та якісного харчування, а також безпеки продуктів, що споживаються, займають важливе місце в збереженні здоров'я населення. ВООЗ розглядає питання якості і безпеки як один із пріоритетних напрямів у збереженні здоров'я споживачів [1]. *Одним з чинників, що безпосередньо впливають на якість продукту в цілому, є якість і безпечність упаковки.*

**Аналіз основних досліджень.** Остання версія стандарту ДСТУ ISO 9000:2015 «Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів» визначає якість як «здатність задовольняти замовників...», при цьому «Якість продукції та послуг охоплює... також їхні сприймані цінність і користь для замовника» [2]. На нашу думку для харчових продуктів це визначення повинне були розширене вимогами до безпечності.

Щодо упаковки, то вона повинна бути виготовлена із безпечних матеріалів і фарб, що не впливають на колір та смак продукту; мати невелику вагу та зручну форму; бути міцною, надійною та стійкою до деформації щоб захистити продукт від дії зовнішнього середовища під час транспортування і зберігання та мати привабливе оформлення для заохочування покупців; мати механізми для забезпечення захисту продукції від фальсифікації та мати маркування, що інформує про основні властивості продукту у відповідності до чинного законодавства [3].

Питаннями якості продукції займалась низка науковців: економістів, екологів, технологів, математиків. Серед них вітчизняні і закордонні вчені: Байер Г., Глічев А. В, Деміденко Д. С, Демінг Е., Ісікава К., Кросбі Ф., Ніксон Ф., Робертсон А., Тагуті Г., Шторм Р. та інші. Велика низка досліджень спрямована на методологічні аспекти контролю якості. Зокрема в роботі [4] введено поняття інтегральної якості, під яким розуміється «якість, яка визначається сукупністю всіх функціональних, естетичних і економічних показників...». Щодо математичних методів, то на сьогодні основним математичним апаратом оцінювання і контролю якості є статичний метод, що був розроблений ще у 60 роки ХХ сторіччя [5].

**Мета досліджень.** Розробити і обґрунтувати підхід до інтегрованої кількісної оцінки якості харчової продукції, що заснований на системі нечіткого логічного виведення.

**Основні матеріали досліджень.** Починаючи з 1965 року, коли Л. Заде [6] вперше запропонував теорію нечітких множин, ця теорія знайшла широке застосування в різних сферах науки і техніки та,



зокрема, в теорії прийняття рішень [7, 8].

Структуру системи нечіткого логічного виведення надано на рис. 1 [7].

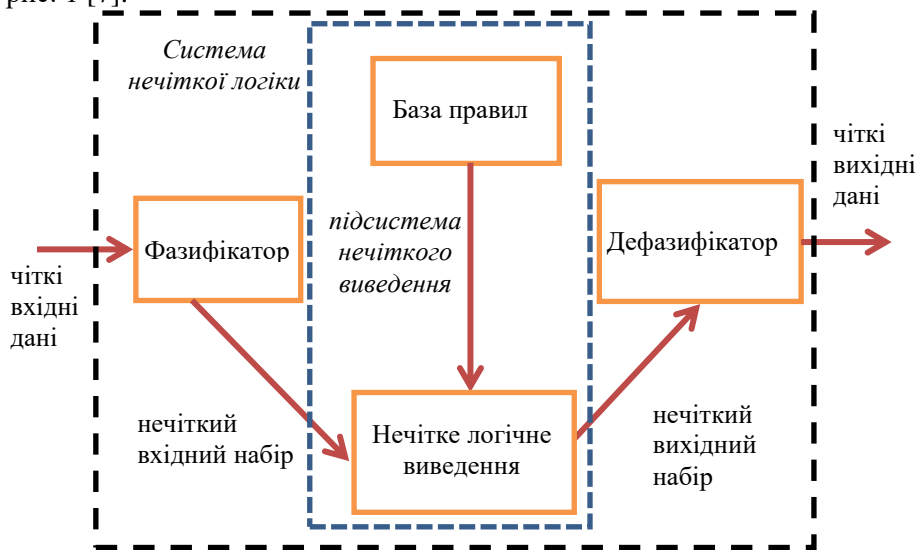


Рис. 1. Структура системи на основі нечіткої логіки

У відповідності до алгоритму нечіткого логічного виведення [6-8] введемо вхідні лінгвістичні змінні  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), що відповідають вхідним одиночним показникам якості та вихідну лінгвістичну змінну  $Y$  – вихідний інтегрований показник якості. Як лінгвістичні змінні  $A_i$  можуть виступати якість матеріалу та фарби, відповідність маркування чинному законодавству, привабливість оформлення, міцність, надійність та захищеність від фальсифікації тощо. Кожну лінгвістичну змінну  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) будемо характеризувати чотирма лінгвістичними термами  $a_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, 4}$ ), що відповідають якісним оцінкам «незадовільно», «задовільно», «добре», «відмінно».

Для прийняття рішення щодо якості упаковки необхідно скласти базу правил системи нечіткого логічного виведення у вигляді нечітких продукційних правил типу «якщо (умова), то (дія)». Сутність цієї бази – це формальне представлення емпіричних знань експертів щодо поведінки об'єкту дослідження. Базу нечітких продукційних правил будемо представляти у вигляді:

$$\begin{aligned}
R_1: & \text{якщо } (x_1 \in a_{11})i \cdots i(x_i \in a_{i1})i \cdots i(x_n \in a_{n1}), \text{ то } y = b_1, \\
& \dots\dots\dots \\
R_k: & \text{якщо } (x_1 \in a_{1k})i \cdots i(x_i \in a_{ik})i \cdots i(x_n \in a_{nk}), \text{ то } y = b_k, \quad (1) \\
& \dots\dots\dots \\
R_l: & \text{якщо } (x_1 \in a_{1l})i \cdots i(x_i \in a_{il})i \cdots i(x_n \in a_{nl}), \text{ то } y = b_l,
\end{aligned}$$

де  $a_{ik}$  – терм-оцінка  $x_i$  в  $k$ -му рядку,  $l$  – кількість правил в базі;  $x_i, i = \overline{1, n}$  – вхідні чіткі змінні,  $y$  – вихідна змінна;  $b_k \in [0, 1], k = \overline{1, l}$  – чіткі значення. Число правил в базі  $l = m^n$ , де  $m = 4$  – число терм-оцінок для кожної змінної, а  $n$  – кількість вхідних змінних  $x_i$ .

Тобто у якості передумови (або антецеденту) виступає складений нечіткий вислів, а в якості консеквенту кожного правила виступають чіткі значення  $b_k \in [0, 1]$ , що задаються експертами.

Наступним кроком формування системи нечіткого виведення є фазифікація, або приведення до нечіткості. Під приведенням до нечіткості розуміють відображення лінгвістичних змінних на множину відповідних чітких вхідних параметрів  $x_i$  шляхом задання функцій приналежності. Одним зі шляхів формування функцій приналежності є метод аналізу ієрархій (МАІ), що було запропоновано Т. Сааті [9]. У відповідності до МАІ для кожної терм-оцінки  $a_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, 4}$ ) за допомогою експертного оцінювання складається матриця  $A_{ij} = \{\alpha_{pq}\}_{ij}$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, 4}, p, q = \overline{1, m_{ij}}$ , де  $m_{ij}$  – кількість контрольних інтервалів для кожної терм оцінки  $a_{ij}$ ). Перевага одного критерію (в нашому випадку перевага однієї лінгвістичної змінної) над іншим оцінюється за 9-бальною шкалою.

$$\alpha_{pq} = \begin{cases} 1 \Rightarrow x_p \text{ та } x_q \text{ мають рівну важливість,} \\ 3 \Rightarrow x_p \text{ має незначну перевагу над } x_q, \\ 5 \Rightarrow x_p \text{ має суттєву перевагу над } x_q, \\ 7 \Rightarrow x_p \text{ має значну перевагу над } x_q, \\ 9 \Rightarrow x_p \text{ має дуже сильну перевагу над } x_q. \end{cases}$$

Кожний елемент будь-якої матриці  $A = \{\alpha_{pq}\}$ , таким чином, оцінює відношення невідомих значень функцій приналежності, тобто

$\alpha_{pq} = \frac{\mu_{a_{ij}}(x_p)}{\mu_{a_{ij}}(x_q)}$ , де  $p, q = \overline{1, m_{ij}}$ . Маємо матрицю

$$A_{ij} = \{\alpha_{pq}\}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\mu_{a_{ij}}(x_1)}{\mu_{a_{ij}}(x_1)} & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_1)}{\mu_{a_{ij}}(x_2)} & \dots & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_1)}{\mu_{a_{ij}}(x_n)} \\ \frac{\mu_{a_{ij}}(x_2)}{\mu_{a_{ij}}(x_1)} & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_2)}{\mu_{a_{ij}}(x_2)} & \dots & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_2)}{\mu_{a_{ij}}(x_n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\mu_{a_{ij}}(x_n)}{\mu_{a_{ij}}(x_1)} & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_n)}{\mu_{a_{ij}}(x_2)} & \dots & \frac{\mu_{a_{ij}}(x_n)}{\mu_{a_{ij}}(x_n)} \end{pmatrix}.$$

Кожна з матриць  $A = \{\alpha_{pq}\}$  має декілька властивостей:

$$\alpha_{pq} = \frac{\mu_a(x_p)}{\mu_a(x_q)} = \frac{1}{\alpha_{qp}}, \quad (2)$$

$$\alpha_{pp} = 1, \quad (3)$$

$$\alpha_{pq}\alpha_{qs} = \frac{\mu_a(x_p)\mu_a(x_q)}{\mu_a(x_q)\mu_a(x_s)} = \frac{\mu_a(x_p)}{\mu_a(x_s)} = \alpha_{ps}, \quad (4)$$

де  $p, q, s = \overline{1, m_{ij}}$ , де  $m_{ij}$  – кількість контрольних інтервалів для кожної терм оцінки  $a_{ij}$ . Таку матрицю називають зворотно симетричною та узгодженою.

Для отримання ступеней приналежності нечіткій множині необхідно визначити власний вектор матриці. В [9] запропоновані наближені методи розв'язання даної задачі для матриць, що мають властивості (2-4).

Скористаємось методом, в якому першим кроком для оцінки власного вектора є розрахунок середнього геометричного для кожного рядку матриці, а другим – нормування отриманого значення діленням на максимальний елемент, тобто остаточні значення вектору дорівнюють:

$$\mu_{a_{ij}}(x_p) = \frac{\sqrt[m_{ij}]{\prod_{k=1}^{m_{ij}} \alpha_{ik}}}{\max \sqrt[m_{ij}]{\prod_{k=1}^{m_{ij}} \alpha_{ik}}} . \quad (5)$$

У разі, коли антецедентна частина являє собою складений нечіткий вислів, необхідно провести процедуру агрегування підумов, тобто визначення ступеня істинності умови по кожному із правил системи (1). При цьому використовуються отримані на попередньому кроці значення функцій приналежності (5) термів лінгвістичних змінних, що входять до антецедентної частини нечітких продукційних правил системи (1). Будемо розглядати нечітке логічне «і» для двох елементарних висловів у відповідності до визначення по Заде [6] як  $\omega \wedge \vartheta = \min\{\omega, \vartheta\}$ , де  $\omega$  і  $\vartheta$  – нечіткі висловлювання. Таким чином агрегована умова  $\lambda_k$  розраховується за правилом:

$$\lambda_k = \left( \mu_{a_{ik_1}}(x_1) \in a_{1k_1} \right) \wedge \dots \wedge \left( \mu_{a_{ik_i}}(x_i) \in a_{1k_i} \right) \wedge \dots \\ \dots \wedge \left( \mu_{a_{ik_n}}(x_n) \in a_{1k_n} \right) = \bigwedge_{i=1}^n \min \left\{ \mu_{a_{ik_i}}(x_i) \right\} .$$

Дефазифікація вихідної лінгвістичної змінної, тобто отримання чіткого значення, проводиться за допомогою дискретного аналогу формули пошуку центру ваги [7]:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^l \lambda_k \cdot b_k}{\sum_{k=1}^n \lambda_k} .$$

Для вербального аналізу отриманих результатів можна скористатися вербально-чисельною шкалою Харрінгтона [10] та визначити ступінь впливу у термах «відмінна якість» (ВЯ), «хороша якість» (ХЯ), «середня якість» (СЯ), «задовільна якість» (ЗЯ) і «незадовільна якість» (НЯ), чисельні значення якого надані в таблиці 1.

Таблиця 1

**Співвідношення між кількісною та якісною оцінкою**

Кількісна оцінка	1,00-0,8	0,8-0,63	0,63-0,37	0,37-0,2	0,2-0
Якісна оцінка	ВЯ	ХЯ	СЯ	ЗЯ	НЯ

**Висновки:** Запропоновано підхід до оцінки якості упаковки, що заснований на використанні методів нечіткого логічного виведення. Цей метод включає в себе 4 етапи: розробка бази нечітких продукційних правил, приведення до нечіткості, нечітка імплікація та дефазифікація (отримання чіткого значення). У разі потреби у статті запропоновано отримання вербального (якісного) еквіваленту розрахованого кількісного значення.

### Список літератури

1. Глобальная стратегия ВОЗ в области безопасности пищевых продуктов [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42559/9241545747.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
2. ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. (ISO 9000:2015 IDT). К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 45 с.
3. Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів : Закон України від 6 грудня 2018 р. № 2639-VIII // Відомості Верховної Ради України. – 2019. – № 7. – Ст. 47.
4. Гличев А. В. Основы управления качеством продукции. – М. : АМИ, 1998. – 356 с.
5. Штурм Р. Теория вероятности. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М. : Мир, 1970. – 368 с.
6. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – Т. 8. – №. 3. – С. 338-353.
7. Terano T. Applied fuzzy systems. / T. Terano, K. Asai, M. Sugeno – Academic Press, 2014. – 301 с.
8. Підхід до кількісної оцінки впливу в'їзного туризму на економіку країни / Ю. Є. Мегель, С. М. Коваленко, С. В. Коваленко, О. Д. Міхнова // Системи обробки інформації. – 2019. – № 3(158). – С. 65-72.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
10. Bezhentseva T. V. Formation of system of indicators for evaluation of environmental activities / T. V. Bezhentseva, N. N. Aleksandrova, E. G. Matyus // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Т. 451. – №. 1. – С. 1-8.

## **Аннотация**

### **ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА УПАКОВКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА НЕЧЕТКОМ ЛОГИЧЕСКОМ ВЫВОДЕ**

*В статье предложен подход к оценке качества упаковки пищевых продуктов, основанный на применении системы нечеткого логического вывода. Указанный подход позволяет проводить оценку качества продукции любой природы.*

## **Abstract**

### **AN APPROACH TO ASSESSING THE QUALITY OF FOOD PACKAGING BASED ON FUZZY INFERENCE**

*An approach to assessing the quality of food packaging, based on the fuzzy inference system, is proposed in the paper. This approach allows us to assess the quality of products of any nature.*

**УДК 664.7.004.12:633.111**

### **КРУП'ЯНИ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ**

**Любич В.В., д.с.-г.н., доц.**

*(Уманський національний університет садівництва)*

*Встановлено, що загальна оцінка каші з крупи пшениці може змінюватися від 64 до 100 % від максимального показника шкали оцінювання. На вихід крупи цілої найбільше впливає вміст ендосперму в зернівці. Високі круп'яні властивості має зерно сортів пшениці м'якої озимої Емеріно, Паннонікус, Ужинок, Суасон, Подолянка та інтрогресивна лінія НАК 61/12: вміст ендосперму становить 84,4–87,2 %, загальна оцінка каші – 8,2–9,0 бала.*

**Постановка задачі.** Якість зерна, вирощуваного в Україні, традиційно не відповідає встановленим вимогам. Так, у 2015 р. з 25 млн т зерна пшениці лише п'ята частина відповідає борошномельним кондиціям. Зерно, непридатне для хлібопекарського виробництва, може використовуватись для отримання круп'яних продуктів, яких за останні десять років в Україні вироблялося 352 тис. т/рік [1].

Технологічні властивості залежать від структури зерна, вмісту анатомічних частин, особливостей мікроструктури ендосперму й

оболонок. Існує тісна залежність між показниками мікроструктури ендосперму та круп'яними і борошномельними властивостями [2].

Круп'яні властивості зерна є визначальними для вибору режимів і способів очищення зерна від домішок, фракціонування, водотеплового оброблення, лущення, шліфування, подрібнювання, площення тощо. До них відносять масу 1000 зерен, натуру, крупність, вирівняність за крупністю, плівчастість та склоподібність [3].

Вважається, що найважливішими показниками, які характеризують фізичні властивості зерна є маса 1000 зерен, крупність, вирівняність і натура зерна. Доведено, що маса 1000 зерен характеризує запас поживних речовин у зернівці. У зерні одного сорту з найбільшою масою 1000 зерен вміст ендосперму вищий [4]. Доведено, що крупність зерна впливає на тривалість варіння каші. Так, цей показник у крупної фракції становить 27 хв, дрібної – 22 хв, а коефіцієнт розварювання знижується, відповідно, з 3,1 до 2,6 [5].

Нині актуальними є нові рішення у технологіях переробної галузі, що дозволяють вирішувати низку виробничих проблем. Разом із стандартними видами крупи нині зростає попит на продукти, отримані з цілого зерна. Вони мають меншу калорійність, більший вміст вітамінів і мінеральних речовин. Круп'яні властивості зерна пшениці м'якої залежать від особливостей його біохімічного складу, який є детермінацією погодних умов, агротехнології та селекційно-генетичних особливостей сорту. Створення та впровадження у виробництво нових сортів зумовлює необхідність вивчення круп'яних властивостей зерна пшениці м'якої.

**Мета роботи** – визначити круп'яні властивості зерна пшениці м'якої озимої залежно від сорту та лінії.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили у лабораторії «Оцінка якості зерна та зернопродуктів» кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Використовували зерно сортів пшениці м'якої: Ластівка одеська, Ужинок, Кохана, з фіолетовим забарвленням зернівки Чорноброва, створених в умовах Степу; Подолянка, Славна, створених в умовах Лісостепу; селекції країн Європи Паннонікус (Австрія), Емеріно (Кіпр), Суасон (Франція) та інтрогресивні лінії НАК 46/12 і НАК 61/12, отримані гібридизацією *Triticum aestivum* / амфіплоїд (*Triticum durum* / *Ae. tauschii*), що вирощувалися в умовах Правобережного Лісостепу України. Контролем (стандартом) слугував

районований сорт пшениці м'якої озимої (національний стандарт Подолянка (st).

Вміст анатомічних складових визначали за вдосконаленою методикою, описаною в патенті на корисну модель «Спосіб визначення вмісту ендосперму в зерні тритикале та пшениці» № u 2016 06341 (Господаренко Г. М., Любич В. В. Новіков В. В. та ін., 2016). Технологічна схема виробництва крупи із пшениці м'якої № 1 у лабораторних умовах включала додаткове очищення зернової суміші пропусканням через ситовий сепаратор та аспіраційну колонку. Зволожували зерно крапельним зрошуванням.

Кількість води розраховували за такою формулою:

$$X = \frac{G (W_1 - W_2)}{100 - W_1},$$

де  $X$  – необхідна кількість води, мл;  $G$  – маса зерна, г;  $W_1$  – необхідна вологість суміші, %;  $W_2$  – початкова вологість суміші, %.

Варіння крупи з пшениці та кулінарне оцінювання каші проводили за вдосконаленою методикою, описаною в патенті на корисну модель «Спосіб кулінарної оцінки круп'яних продуктів із зерна тритикале і пшениці» (№ 104152).

Середню оцінку в балах визначали як середнє арифметичне за всіма показниками, а у відсотках – за методом відносних величин Ацці, де за 100 % приймали найбільшу величину кожного показника Математичну обробку даних проводили методом однофакторного дисперсійного аналізу.

**Результати досліджень** свідчать, що вміст анатомічних складових зернівок змінювався залежно від сорту та лінії пшениць (табл. 1). Так, вміст ендосперму в зерні сортів пшениці м'якої озимої був від 81,7 до 87,2 %, проте істотно вищим – лише у п'яти сортів: Кохана, Паннонікус, Емеріно та інтрогресивної лінії NAK 46/12 ( $HIP_{05}=4,1$ ). Найнижчий вміст ендосперму мали зернівки сорту 80,8 %. Вміст оболонки у зернівках змінювався від 10,8 до 17,1 %, а зародку – від 1,4 до 2,1 % залежно від сорту та лінії пшениці.

Встановлено, що вихід крупи з пшениці № 1 істотно змінювався залежно від сорту та лінії. Так, найвищий її вихід отримано із зерна сортів Кохана й Емеріно – 88,6–88,7 % (рис. 1). Зерно інтрогресивних ліній пшениці м'якої також характеризувалось високим виходом – від 86,7 до 89,1 %. Цей показник у решти сортів змінювався від 81,3 до 85,0 %.



Таблиця 1

**Вміст анатомічних складових зернівки сортів і ліній пшениці м'якої озимої, %**

Сорт, лінія	Вміст					
	ендосперму	до st, ±	оболонки	до st, ±	зародку	до st, ±
Подільянка (st)	81,7	–	16,4	–	1,9	–
Чорноброва	80,8	-0,9	17,1	0,7	2,1	0,2
Ластівка одеська	83,2	1,5	15,1	-1,3	1,7	-0,2
Ужинок	84,4	2,7	13,8	-2,6	1,8	-0,1
Славна	84,9	3,2	13,0	-3,4	2,1	0,2
Кохана	87,2	5,5	10,8	-5,6	2,0	0,1
Суасон	84,2	2,5	13,7	-2,7	2,1	0,2
Паннонікус	85,1	3,4	12,9	-3,5	2,0	0,1
Емеріно	87,2	5,5	11,4	-5,0	1,4	-0,5
НАК61/12	84,2	2,5	14,1	-2,3	1,7	-0,2
НАК46/12	85,0	3,3	13,4	-3,0	1,6	-0,3
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>4,1</i>	–	<i>0,7</i>	–	<i>0,1</i>	–

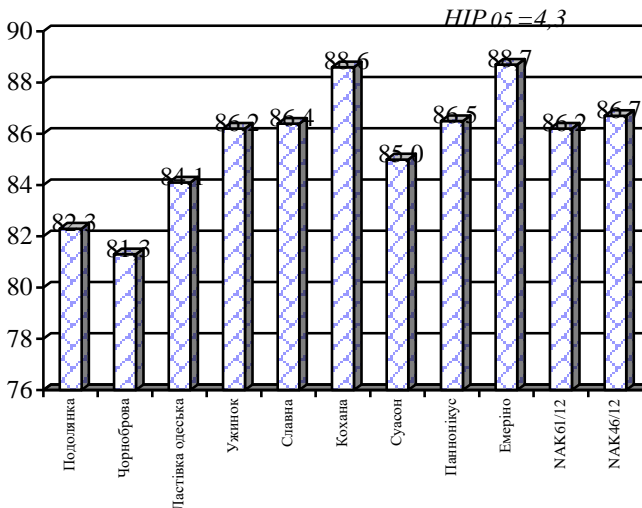


Рис. 1. Вихід крупи із пшениці м'якої №1 залежно від сорту та лінії, %

Між виходом крупи з пшениці №1 і вмістом ендосперму в зернівці встановлено дуже високу ( $r=0,93$ ) кореляційну залежність,

яка описується таким рівнянням регресії:  $y = 1,0405x - 2,0344$ , де  $y$  – вихід крупи з пшениці №1, %;  $x$  – вміст ендосперму в зернівці, % (рис. 2).

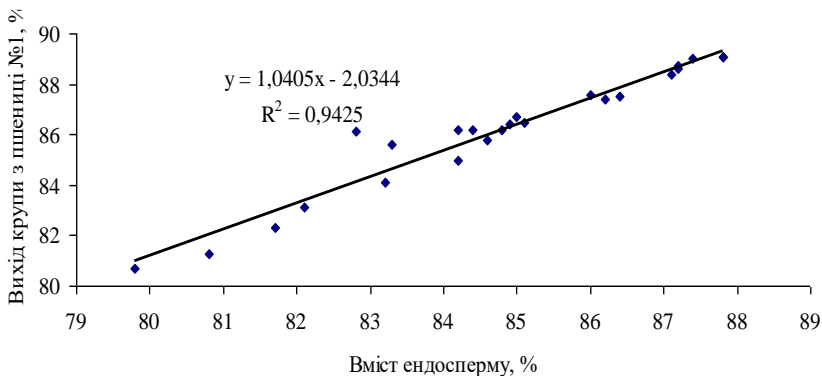


Рис. 2. Кореляційна залежність між виходом крупи з пшениці № 1 і вмістом ендосперму в зернівках

Очевидно, що вихід крупи найбільше залежить від вмісту ендосперму в зернівці пшениці м'якої.

Встановлено, що органолептична оцінка каші з круп'яних продуктів зерна пшениці м'якої істотно змінювалась залежно від сорту та лінії (табл. 2). Так, сильно виражений запах (9 бала) мала каша, отримана з крупи чотирьох сортів, виражений (7 бала) – чотирьох, слабо виражений (5 бала) – два сорти. Відсутній запах мала каша, отримана з крупи зерна сорту Кохана – 3 бала. Походження сорту та лінії не впливало на показник кольору каші, який був світло-кремовим з жовтим відтінком. Колір каші з крупи пшениці сорту Чорноброва був з фіолетовим відтінком завдяки вмісту антоціанового забарвлення, тому її не оцінювали.

Смак каші з крупи пшениці м'якої змінювався аналогічно показникам запаху. Найвищу оцінку за смаком мала каша, отримана з крупи зерна сортів Емеріно та Паннонікус – 9 бала.

Розсипчасту консистенцію (9 бала) мала каша з крупи пшениці сортів Подолянка, Ужинок, Суасон, Емеріно і Паннонікус, у лінії НАК 61/12 – слабко розсипчасту консистенцію (7 бала), а каша з крупи зерна решти сортів була слабко розсипчастою з грудочками. За показником розжовування каша з крупи пшениці була дуже ніжною та мала найвищу кулінарну оцінку – 9 бала.

Таблиця 2

**Кулінарна оцінка крупи з пшениці м'якої № 1 залежно від сорту та лінії, бал**

Сорт, лінія	Показник						
	Запах	Колір	Смак	Консистенція	Консистенція під час розжовування	Загальна оцінка	Загальна оцінка, %
Подольнка (st)	7	9	7	9	9	8,2	91
Кохана	3	9	3	5	9	5,8	64
Ластівка одеська	5	9	5	5	9	6,6	73
Ужинок	9	9	7	9	9	8,6	96
Славна	5	9	3	5	9	6,2	69
Чорноброва	9	–	5	7	9	7,5	83
Суасон	7	9	7	9	9	8,2	91
Емеріно	9	9	9	9	9	9,0	100
Паннонікус	9	9	9	9	9	9,0	100
НАК46/12	7	9	5	5	9	7,0	78
НАК61/12	7	9	7	7	9	7,8	87
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0,3</i>	–

Вважається, що загальна кулінарна оцінка з показником 8,0–9,0 бала – дуже висока, 6,6–8,0 – висока, 5,4–6,6 – середня, 4,0–5,4 – низька, < 4,0 бала – дуже низька.

Результати досліджень свідчать, що загальна кулінарна оцінка істотно змінювалась залежно від сорту та лінії пшениці. Дуже високу кулінарну оцінку мала крупа зерна сортів пшениці м'якої Подольнка, Ужинок, Суасон, Емеріно, Паннонікус – 91–100 % за комплексним показником Ацці. Кулінарна оцінка крупи зерна сортів Кохана, Ластівка одеська й Славна була низькою – 5,8–6,6 бала. Крупа, отримана із зерна решти сортів пшениці м'якої озимої та ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum*/амфіплоїд (*Triticum durum* / *Ae. tauschii*), мала високу оцінку (73–89 %).

**Висновки.** Отже, круп'яні властивості зерна пшениці м'якої істотно залежать від сорту та лінії. Загальна оцінка каші з крупи

пшениці може змінюватися від 64 до 100 % від максимального показника шкали оцінювання. На вихід крупи цілої найбільше впливає вміст ендосперму в зернівці. Високі круп'яні властивості має зерно сортів пшениці м'якої озимої Емеріно, Паннонікус, Ужинок, Суасон, Подолянка та інтрогресивна лінія НАК 61/12: вміст ендосперму становить 84,4–87,2 %, загальна оцінка каші – 8,2–9,0 бала.

### Список літератури

1. Михно М. Ринок борошна й крупу. The Ukrainian Farmer. 2015. №10. Режим доступу: <http://www.agrotimes.net/journals/article/rinok-boroshna-j-krup>.

2. Скалецька Л. Ф. Вплив товарної якості на борошномельні та хлібопекарські якості зерна пшениці // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. Вип. 149. С. 190–200.

3. Литвиненко М. А., Лифенко С. П., Голуб Є. А. Сильні та екстрасильні сорти пшениці // Насінництво. 2014. № 8. С. 1–6.

4. Моргун В. О. Наукові основи технології виробництва пшеничного борошна і крупи підвищеної харчової цінності : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.02 Одеська НАХТ. Одеса. 1999. 33 с.

5. Schober T. J., Bean S. R., Kuhn M. Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study // J. Cereal Sci. 2006. № 44. P. 161–173.

### Аннотация

#### **КРУПЯНЫЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА**

Установлено, что общая оценка каши из крупы пшеницы может изменяться от 64 до 100% от максимального показателя шкалы оценивания. На выход целой крупы влияет содержание эндосперма в зерне. Высокие крупяные свойства имеет зерно сортов пшеницы мягкой озимой Емерино, Панноникус, Ужынок, Суасон, Подолянка и интрогресивна линия НАК 61/12: содержание эндосперма составляет 84,4–87,2 %, общая оценка каши – 8,2–9,0 балла.

## **Abstract**

### **CEREAL PROPERTIES OF GRAIN OF BREAD WHEAT DEPENDING ON THE VARIETY**

*It is found that the total grade of wheat cereal porridge can vary from 64 to 100% of the maximum value of the rating scale. The output of cereals whole is most influenced by the content of endosperm in the grain. The grain of soft winter wheat Emerino, Pannonikus, Uzhynok, Soisson, Podolianka and introgressive line NAK 61/12 has high cereals: endosperm content is 84.4–87.2%, total porridge is 8.2–9.0 points.*

## **УДК 621.86**

### **ВПЛИВ ЗВОЛОЖУВАННЯ ТА ВІДВОЛОЖУВАННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ НА ВИХІД БОРОШНА**

**Любич В.В., д.с.-г.н., доцент, Желєзна В.В., к.с.-г.н.,**

**Улянич І.Ф., к.т.н.**

*(Уманський національний університет садівництва)*

*У статті досліджено вплив зволоження та відволоження зерна пшениці спельти на вихід борошна. Встановлено високий зв'язок між параметрами водотеплового оброблення зерна пшениці спельти і виходом борошна. Найбільший вплив на вихід борошна має градієнт зволоження зерна. Тривалість відволоження менше, проте істотно впливає на вихід борошна.*

**Постановка задачі.** Нині зерно спельти набуває популярність та є цінною сировиною для борошномельних і круп'яних заводів [3, 7]. В умовах реорганізації економіки України та її Європейського вектору розвитку, першочерговим завданням провідних вітчизняних фахівців є адаптація сировини і продуктів її перероблення до вимог західного ринку [2, 6]. Це зумовить збільшення збуту готових продуктів і залучення додаткових інвестицій у економіку України. Перспективною галуззю європейського ринку є борошномельне виробництво, що підтверджується інтенсифікацією наукових досліджень у цій сфері [1]. Оскільки валовий збір зерна спельти в Україні істотно поступається м'яким пшеницям, нині економічно ефективно її перероблення на заводах низької продуктивності зі скороченим технологічним процесом.

Зерно пшениці спельти характеризується високою харчовою цінністю, що дозволяє отримувати хлібобулочні та кондитерські

вироби з метою виробництва конкурентоспроможної продукції з покращеними функціонально-технологічних властивостями [4, 5]. Тому в умовах постійного зростання кількості сортів пшениці спельти та збільшення площ вирощування виникає необхідність вивчення технології перероблення її зерна в борошно.

**Мета досліджень:** вивчення впливу зволоження та відволоження зерна пшениці спельти на вихід борошна.

**Основні матеріали досліджень:** Описовою статистикою було встановлено, що водотеплове оброблення достовірно зумовлювало вплив як на загальний вихід борошна, так і на показники його виходу після першої та другої системи (табл. 1). Середня арифметична (5,75 %, 31,62 і 83,38 %) та медіана (51,35 %, 31,80 і 82,9 %) були подібними у всіх випадках, що пояснювалось можливістю правильного розподілення даних. Водотеплове оброблення зумовлювало найбільший вплив на вихід після першої розмелювальної системи, оскільки різниця між мінімальним і максимальним значенням була найвищою – 8,5 %. Проте найменше водотеплове оброблення впливало на вихід борошна після другої розмелювальної системи.

Таблиця 1

**Вплив водотеплового оброблення на вихід борошна**

Технологічний показник	Середнє арифм.	Медіана	Мін.	Макс.	Розмах	Станд. пох.
Вихід після першого розмелювання, %	51,75	51,35	48,4	56,9	8,5	2,1
Вихід після другого розмелювання, %	31,62	31,80	29,0	33,3	4,3	1,1
Загальний вихід борошна, %	83,38	82,90	81,3	85,9	4,6	1,3

Більш наглядно залежність між параметрами ВТО та виходом борошна можна описати за допомогою коміркових діаграм (рис. 1 і 2).

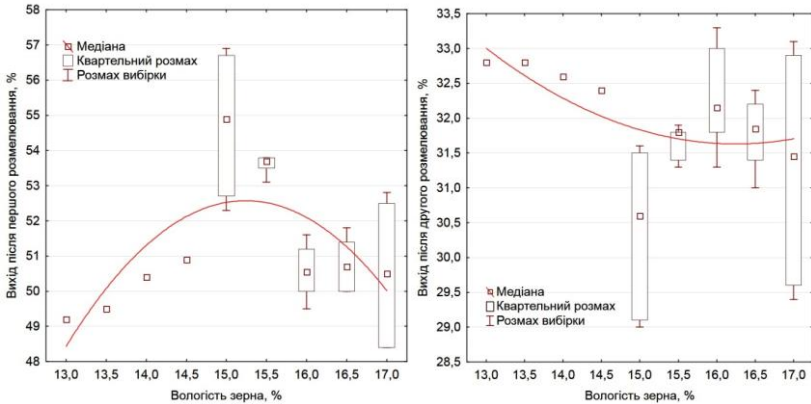


Рис. 1. Залежність між параметрами водотеплового оброблення та виходом борошна із зерна пшениці спельти після першої і другої розмелювальної системи

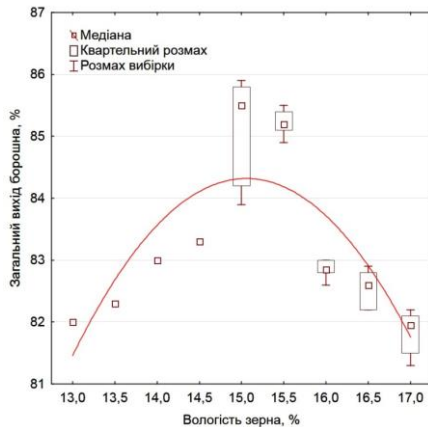


Рис. 2. Вплив параметрів водотеплового оброблення на вихід борошна із зерна пшениці спельти

Встановлено, що збільшення вологості та тривалості відволожування знижувало середньостатистичний вихід борошна після другої розмелювальної системи. Тенденції зміни загального виходу борошна та його виходу після першої розмелювальної системи були аналогічними. Збільшення вологості зерна до 15,0 % зумовлювало підвищення виходу борошна (табл. 2). Проте за його вологості 16,0 % і вище вихід борошна знижувався. Це пояснюється тим, що проведення водотеплового оброблення сприяє зменшенню сил взаємодії крохмальних гранул борошнистого ендосперму.

Таблиця 2

**Вплив зволоження та відволоження зерна пшениці спельти  
на вихід борошна, %**

Вологість зерна, %	Тривалість відволоження, год	Вихід борошна після розмелювання		Всього
		першого	другого	
13,0	–	49,2	32,8	82,0
13,5	–	49,5	32,8	82,3
14,0	–	50,4	32,6	83,0
14,5	–	50,9	32,4	83,3
15,0	5	52,3	31,6	83,9
	10	52,7	31,5	84,2
	15	54,6	30,7	85,3
	20	55,2	30,5	85,7
	25	56,7	29,1	85,8
	30	56,9	29,0	85,9
15,5	5	52,2	31,9	84,1
	10	53,1	31,8	84,9
	15	53,8	31,3	85,1
	20	53,8	31,4	85,2
	25	53,5	31,9	85,4
	30	53,7	31,8	85,5
16,0	5	50,4	32,2	82,6
	10	49,5	33,3	82,8
	15	50,7	32,1	82,8
	20	50,0	33,0	83,0
	25	51,2	31,8	83,0
	30	51,6	31,3	82,9
16,5	5	50,1	32,1	82,2
	10	50,0	32,2	82,2
	15	50,0	32,4	82,4
	20	51,3	31,6	82,9
	25	51,4	31,4	82,8
	30	51,8	31,0	82,8
17,0	5	48,4	32,9	81,3
	10	48,4	33,1	81,5
	15	50,3	31,5	81,8
	20	50,7	31,4	82,1
	25	52,5	29,6	82,1
	30	52,8	29,4	82,2
<i>НІР<sub>05</sub> загальна</i>		2,6	1,5	4,0



Очевидно, що за підвищення вологості до 15,0 % утворювалась найменша кількість проміжних продуктів (крупок і дунстів), а вилучення борошна на першій системі було найбільшим. Підвищення вологості до 16,0–17,0 % зумовлювало збільшенню кількості проміжних продуктів, що збільшувало вихід борошна на другій системі.

Дослідження показують, що процес крупоутворення на підприємствах малої продуктивності із використання двох розмільних систем і традиційних борошномельних заводах істотно відрізняється. У результаті проведення регресійного аналізу підтверджено достовірно високий зв'язок ( $r=0,68-0,72$ ) між виходом борошна та водотепловим обробленням (табл. 3).

Таблиця 3

**Результати регресійного аналізу впливу водотеплового оброблення на вихід борошна із зерна пшениці спелти**

Статистичний показник	Вихід борошна після першої системи	Вихід борошна після другої системи	Загальний вихід борошна
Коеф. множинної кореляції	0,72	0,67	0,68
Коеф. множинної детермінації	0,53	0,45	0,46
Довірчий рівень	0,000007	0,00007	0,00006
Стандартна похибка обчислення	1,51	0,83	1,05

Сила взаємодії була істотною, оскільки коефіцієнти множинної детермінації становили 0,45–0,53, що зумовлювало доцільність наступного їх моделювання.

Отримані математичні моделі можна зобразити так:

$$V_{1 \text{ система}} = 67,04787 - 1,13378X_1 + 0,16484X_2, \quad (1)$$

$$V_{2 \text{ система}} = 29,39616 + 0,22172X_1 - 0,08131X_2, \quad (2)$$

$$V_{\text{загальний}} = 96,44403 - 0,91206X_1 + 0,08353X_2. \quad (3)$$

Із ймовірністю 95 % можна стверджувати, що тривалість відволожування впливала на вихід борошна, тоді як довіра впливу вологості на вихід борошна після другої системи становила 85 %.

Майже в усіх випадках залежності між параметрами

оброблення та виходом борошна були високими, оскільки бета коефіцієнти за модулем були більшими 0,5 (рис. 3).

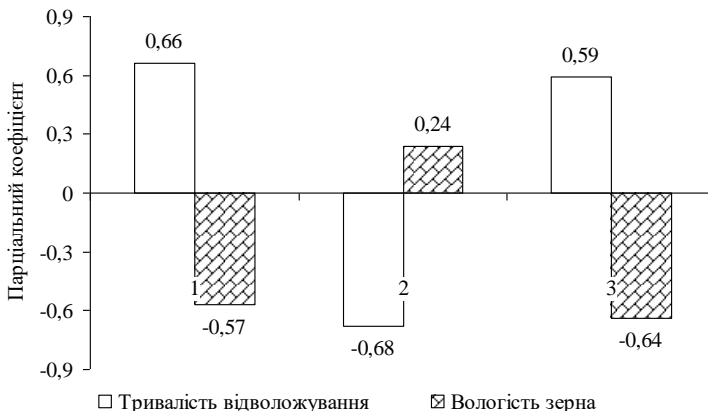


Рис. 3. Залежність виходу борошна від параметрів водотеплового оброблення: 1 – після першої розмелювальної системи; 2 – після другої розмелювальної системи; 3 – загальний вихід борошна.

Вологість зерна мала вищий ступінь впливу на загальний вихід борошна порівняно із тривалістю відволожування, проте в поєднанні ці два параметри істотно впливали на процес вироблення борошна. Тому для встановлення оптимального режиму, після перевірки правильного розподілення залишків функції 5 були побудовані поверхні відклику (рис. 4).

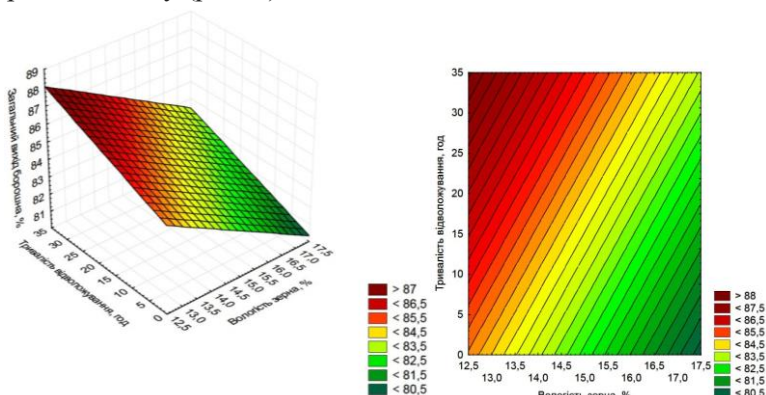


Рис. 4. Залежність між вологістю зерна пшениці, тривалістю його відволожування та виходом борошна

Із рис. 4 видно, що максимальний вихід борошна можна отримати після зволоження зерна спельти до вологості  $15,0 \pm 0,5$  % з наступним його відволоженням упродовж 30–35 год.

**Висновки:** Отже, встановлено високий зв'язок між параметрами водотеплового оброблення зерна пшениці спельти і виходом борошна. Найбільший вплив на вихід борошна має градієнт зволоження зерна. Тривалість відволоження менше, проте істотно впливає на вихід борошна. Рекомендований режим виробництва борошна на млинах низької продуктивності із використанням двох розмельних систем полягає у зволоженні зерна до вологості  $15 \pm 0,5$  %. Для підвищення виходу борошна на 1–3 % рекомендується збільшувати тривалість відволоження до 20–30 год. Проте економічну ефективність використання тривалого відволоження необхідно встановлювати індивідуально для кожного підприємства.

### Список літератури

1. Бажай-Жежерун С. А. Продукты из пророщенного зерна «зернышко пикантное» // Зернові продукти і комбікорми. 2015. № 9. С. 3–7.
2. Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. Технологии зерноперерабатывающих производств. М.: Интеграф сервис, 1999. 472 с.
3. Егоров Г.А. Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна. М.: Колос, 1973. 264 с
4. Гаро В.Е. Влияние водотепловой обработки зерна на белковые вещества и качество пшеничной муки: автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.18.02 «Технология зерновых, бобовых, крупяных продуктов и комбикормов». Одесса. 1981. 21 с.
5. Сафонова О.М., Разборська О.О. Вплив імпульсної водно-теплової обробки зерна пшениці на його структурно-механічні властивості // Вібрації в техніці та технологіях. №1 (61). 2011. С. 168–171.
6. Slavin J. Whole grains and human health // Nutrition Research Reviews. 2004. Vol. 17. P. 99–110.
7. Reynolds M. P., Hobbs P. R. , Braun H. J. Challenges to international wheat improvement // Aqreecultural Sciens. 2007. № 3. С. 225–227.

## **Аннотация**

### **ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ И ОТВОЛАЖИВАНИЕ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ СПЕЛЬТЫ НА ВЫХОД МУКИ»**

*В статье исследовано влияние увлажнения и отволаживания зерна пшеницы спельты на выход муки. Установлено высокую связь между параметрами водотепловой обработки зерна пшеницы спельты и выходом муки. Наибольшее влияние на выход муки имеет градиент увлажнения зерна. Продолжительность отволаживания меньше, однако существенно влияет на выход муки.*

## **Abstract**

### **THE INFLUENCE HUMIDIFYING AND SOFTENING OF OF SPELT WHEAT GRAIN YIELD OF FLOUR**

*The effect of humidifying and softening of spelt wheat grain on the yield of flour is investigated in the article. A high relationship between the parameters of water heat treatment of spele wheat grain and the yield of flour was established. The greatest influence on the yield of flour has a gradient of humidifying of the grain. The duration of softening is shorter, but it significantly affects the yield of flour.*

**УДК 664.7.004.12:633.111**

### **ВИХІД ЦІЛОЇ КРУПИ ІЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЛУЩЕННЯ І ВОДОТЕПЛООВОГО ОБРОБЛЕННЯ**

**Любич В.В., док.с.-г.н., доц., Новіков В.В., к.т.н., ст. викладач,  
Лещенко І.А., аспірант**

*(Уманський національний університет садівництва)*

*У статті наведено результати досліджень впливу тривалості лущення, зволоження і відволоження на вихід цілої крупи із зерна пшениці полби. Встановлено оптимальну вологість зерна для лущення, яка становить 13–14 %. Вона забезпечує високий вихід цілої крупи 86,0–99,6 % залежно від тривалості лущення.*

**Постановка задачі.** Виробництво круп'яних продуктів – один із основних напрямів переробки зерна. Харчова цінність круп залежить напрямом від кількісного і якісного розподілу поживних нутрієнтів у зернівці та опосередковано від індексу лущення. На вихід та органолептичну оцінку крупи істотно впливає індекс

лущення зерна, який змінюється залежно від режимів підготовки зерна й міцності ендосперму з оболонками [1].

Пшениця полба або еммер чи двозернянка (*Triticum dicocum* (Schrank) Schuebl) є представником групи плівкових видів пшениць, що обумовлює анатомічні відмінності від поширених безплівкових пшениць, тому вивчення впливу режимів підготовки зерна пшениці полби є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Крупа – продукт лущення зерна в лущильно-шліфувальних машинах і являє собою ціле або подрібнене зерно, яке повністю або частково звільнене від оболонок, алейронового шару, зародка. На вихід крупи значно впливає міцність поверхневих плівок зернівки із ендоспермом. Для послаблення цих зв'язків застосовують процес водотеплового оброблення (ВТО).

Вченими [2] встановлено, що зволоження і відволоження зерна істотно впливає на вихід крупи із пшениці спелти. Підвищення вологості зерна призводило до зниження ступеня лущення, що зумовлено структурно-механічними властивостями зволоженого зерна: вологіше зерно має вищу міцність і в'язкість унаслідок чого збільшується його стійкість до механічної обробки.

В Україні розвиваються фермерські господарства, які вирощують малопоширені зернові культури, до яких відноситься пшениця полба [3]. У Німеччині вирощують пшеницю полбу за врожайності 7,2 т/га, маса 1000 зерен якої становить 38–56 г за плівчастості 20–25 %.

За харчовою цінністю пшениця полба відрізняються від м'якої пшениці вищим вмістом білка (до 27 %) та ліпідів, мінеральних речовин, редукувальних цукрів, вітамінів і нижчим вмістом вуглеводів (60 %) [4, 5]

Дослідження Є. П. Могучаєва [6] свідчать, що водотеплове оброблення сприяє переходу вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> РР в ендосперм за вологості зерна від 13,5% і вище. Крім цього, встановлено ріст попиту на продукти, одержані з цілого зерна, які характеризуються збалансованим складом поживних нутрієнтів. Внаслідок збільшення ступеня лущення зернівок зменшується кількість незамінних амінокислот і вітамінів у готовому продукті [7].

**Метою роботи** є вивчення виходу цілої крупи із зерна пшениці полби залежно від тривалості лущення і водотеплового оброблення.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили у лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського НУС

«Оцінка якості зерна та зернопродуктів». Для експерименту використано зерно пшениці полби сорту Голіковська (яра) і лінії LP 1152 (озима), вирощене в умовах Правобережного Лісостепу. Лущення зерна здійснювали на лабораторному лушильнику УШЗ-1 з швидкістю обертання робочого органу 3000 об/хв. Маса зразка для лущення становила 150 г.

Лущення проводили від 20 до 200 с із кроком 20 с за вологості зерна від 12 до 14 %. Для дослідження виходу цілої крупи залежно від ВТО було проведено лущення зерна продовж 180 с за вологістю від 14,5 до 17 % з відволожування 30, 60, 90 і 120 хв.

**Результати досліджень.** Встановлено, що вихід ядра значно залежить від тривалості лущення і вологості та неістотно від тривалості відволожування. Найвищий вихід цілої крупи за вологості 12 % отримано за тривалості лущення 20 с, який становив 97,5 % для сорту Голіковська і 98,9 % для лінії LP 1152. Подальше підвищення тривалості лущення зерна знижувало вихід лушеного ядра.

Так, за вологості 12 % збільшення тривалості лущення до 160 с зумовило зниження виходу ядра від 81 до 85,1 % відповідно для сорту Голіковська і лінії LP 1152, завдяки стиранню поверхні зернівки (табл. 1).

Таблиця 1

**Вихід цілої крупи із зерна полби від тривалості лущення, %**

Тривалість лущення (чинник А), с	Сорт Голіковська			Лінія LP 1152			
	Вологість зерна (чинник В), %						
	12,0	13,0	14,0	12,0	13,0	14,0	
20	97,5	99,5	99,6	98,9	99,7	99,6	
40	95,0	96,8	96,4	96,8	97,8	97,7	
60	92,4	94,1	93,8	94,6	95,9	95,6	
80	90,7	92,7	93,3	93,1	94,1	94,5	
100	88,5	91,5	90,4	91,8	92,9	92,7	
120	87,4	88,6	88,0	90,1	92,1	92,0	
140	85,7	87,4	87,3	89,3	90,1	90,2	
160	84,0	86,1	85,9	88,4	88,9	89,4	
180	82,7	83,4	83,0	85,6	87,5	88,1	
200	81,0	81,9	82,0	85,1	86,6	86,0	
HIP <sub>05</sub>	A	2,2	–	–	2,1	–	–
	B	1,7	–	–	1,5	–	–

Різниця виходу крупи між сортом Голіковська і лінією LP 1152 становить в середньому 1,4–3,9 % за вологості зерна 12 %. Це пов'язано із сортовими особливостями зернівок. Підвищення вологості до 13 % зумовило зростання виходу ядра за всіма варіантами тривалості лушення порівняно із аналогічними режимами за вологості 12 % на 0,9–2,0 % для сорту Голіковська і 0,8–1,5 % для лінії LP 1152.

За вологості 14 % вихід ядра також був вищий порівняно із виходом за вологості 12 % на 1,0–2,1 % для сорту Голіковська і на 0,7–0,9 % для лінії LP 1152. Вихід ядра із зерна полби сорту Голіковська за вологості 14 % порівняно із вологістю 13 % був вищий за лушення впродовж 20, 80, 200 с відповідно на 0,1, 0,6 і 0,1 %. Вихід цілої крупи із полби лінії LP 1152 за вологості 14 % порівняно із вологістю 13 % був вищий за лушення впродовж 80, 140–180 с відповідно на 0,4, 0,1–0,6 %.

За даними табл. 2 і табл. 3 відволожування зерна пшениці полби сприяло зниженню виходу цілої крупи. Так, найвищий вихід крупи із зерна пшениці полби сорту Голіковська був за вологості 15 % з тривалістю відволожування 30 хв і становив 82,2 %. Найнижчий вихід (79,5 %) спостерігався за вологості 17,0 % і відволожуванні 120 хв.

Таблиця 2

**Вихід крупи залежно від вологості та тривалості відволожування (сорт Голіковська, тривалість лушення 180 с), %**

Вологість зерна, %	Тривалість відволожування, хв			
	30	60	90	120
14,5	82,0	80,9	81,0	79,9
15,0	82,2	80,7	81,9	81,4
15,5	81,7	81,3	81,9	80,6
16,0	80,9	80,5	80,1	80,0
16,5	80,9	80,6	80,3	80,0
17,0	80,6	80,0	79,7	79,5
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>A</i>	2,5	–	–
	<i>B</i>	1,1	–	–

Таблиця 3

**Вихід крупи залежно від вологості та тривалості відволожування  
(лінія LP 1154, тривалість лушення 180 с), %**

Вологість зерна, %	Тривалість відволожування, хв			
	30	60	90	120
14,5	88,7	85,7	86,4	84,8
15,0	86,0	84,0	86,8	86,5
15,5	86,4	85,6	85,7	86,6
16,0	86,1	85,1	85,1	85,4
16,5	85,6	85,4	85,0	84,4
17,0	85	85,1	84,0	84,0
HIP <sub>05</sub>	A	3,0	–	–
	B	1,3	–	–

Найвищий вихід крупи із зерна пшениці полби лінії LP 1152 був за вологості 14,5 % з тривалістю відволожування 30 хв і становив 88,7 %. Найнижчий вихід (84,0 %) спостерігався при вологості 17,0 % і відволожені 120 хв.

**Висновки.** Доведено можливість використання зерна пшениці полби як сировини під час виробництва крупи. У результаті проведених досліджень встановлено, що вихід крупи змінювався залежно від вологості зерна та його відволожування. Проте реакція зернівок від вологи відрізняється залежно від сорту і лінії пшениці полби. Так, із зерна пшениці полби сорту Голіковська з підвищенням його вологості 14,0–17,0 % без або з короткочасним відволожуванням (30 хв) вихід крупи зменшується на 2,8 % порівняно з найвищим виходом (83,4 %) за вологості 13 %. Вихід крупи із пшениці полби лінії LP 1152 покращується (85,6–88,7 %) з підвищенням вологості зерна до 14,5 % без або з короткочасним відволожуванням (30 хв). За подальшого підвищення вологості до 17,0 % вихід крупи зменшується до 85,0 %. Оптимальним варіантом для обох досліджених зразків зерна пшениці полби є лушення за вологості 13–14 %.

### Список літератури

1. Соц С.М., Волошенко О.С., Кустов І.О. Вплив водно-теплової обробки зерна на вихід і якість цілої крупи з голозерного вівса: Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. - 2013. Т.1, Вип. 44. С. 7-10.

2. Любич В.В., Полянецька І.О. Якість цілої крупи із зерна спельти залежно від індексу його лушення та водно-теплової обробки: Вісник Уманського національного університету



садівництва. Умань. 2015. № 2 С. 34–38.

3. Петренко І. Мільйон з гектара. Дрібні фермерські господарства можуть заробляти набагато більше, ніж великі агрохолдинги URI: [http://texty.org.ua/pg/article/textynewseditor/read/76736/Miljon\\_z\\_gektara\\_Dribni\\_fermerski\\_gospodarstva\\_mozhut?a\\_srt=&a\\_offset=7/](http://texty.org.ua/pg/article/textynewseditor/read/76736/Miljon_z_gektara_Dribni_fermerski_gospodarstva_mozhut?a_srt=&a_offset=7/) (дата звернення: 20.10.2019)

4. Кондрат С.В. Рост и продуктивность полбы *Triticum dicossum* (Schrank) schuebl. при инокуляции семян ассоциативными штаммами бактерий и внесении возрастающих доз минерального азота /автореферат дис...канд. биол. наук: 29.05.2007. ВИР. Санкт-Петербург, 2007. 19 с.

5. Дробот В.І., Михонік Л.А., Семьонова А.Б. та ін. Борошно стародавніх пшениць, продукти переробки круп'яних культур та шроту у технології хліба: ПрофКнига, 2018. 188 с.

6. Могучева Э.П. Влияние гидротермической обработки зерна на содержание теамина, рибофлавина, и никотиамида в сортовой муке. – автореферат. дис. канд. техн. наук. Москва: 1972. 28 с

7. Шаповаленко О.І., Євтушенко О.О., Тертишна Ю.П. Дослідження сучасного стану круп'яних продуктів. Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах: матеріали всеукр. конф. Умань, 2013. С. 4–5.

## **Аннотация**

### **ВЫХОД ЦЕЛОЙ КРУПЫ ИЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ПОЛБЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ШЕЛУШЕНИЯ И ВОДНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ**

*В статье приведены результаты исследований влияния продолжительности шелушения, увлажнения и отволаживания на выход целой крупы из зерна пшеницы полбы. Установлено, что оптимально шелушить зерно пшеницы полбы с влажностью 13–14%.*

## **Abstract**

### **YIELD OF THE WHOLE CIRCLE FROM EMMER GRAIN DEPENDING ON THE DURATION OF PEELING AND WATER-HEAT PROCESSING**

*The article contents the results of studies of the effect of duration of peeling, moisturizing and weaning on the yield of whole cereals from emmer. It was found that it is optimal to peel spelled wheat grain with a moisture content of 13–14 %.*

УДК 539.3

## РОЗРАХУНКИ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ НА МІЦНІСТЬ З УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ

Сичов А.І., к.т.н., доц., Сичова Т.О., к.т.н., доц.

(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)

*У статті розглядається використання теорії оболонок з урахуванням геометричної нелінійності для розрахунків міцності тонкостінних елементів обладнання переробних і харчових виробництв. В розрахунках враховано також накоплення пошкоджуваності при повзучості. Надаються вид визначальної системи рівнянь та метод розв'язку. Наведені результати розрахунків міцності круглих пластинчастих елементів обладнання.*

**Постановка проблеми та її актуальність.** В переробних і харчових виробництвах широко використовують обладнання, яке складається з тонкостінних оболонкових та пластинчастих елементів [1,2]. В процесі роботи обладнання має достатньо велике силове навантаження. При підвищених температурах в конструкціях можуть виникати деформації повзучості та іде накопичення пошкоджуваності, яке при відповідних умовах приводить до руйнування обладнання. Збільшення прогину тонкостінних конструкцій до величин, які дорівнюють або більше їх товщини, потребує враховувати в теорії оболонок та пластин геометричну нелінійність.

Розглянемо постановку задачі для осесиметрично навантажених оболонок обертання з урахуванням геометричної нелінійності при повзучості та пошкоджуваності [3,4,5].

Для точки оболонки задано систему координат  $(\xi_1, \xi_2, \zeta)$ . Координата  $\xi_1$  – це координата вздовж твірної оболонки,  $\xi_2$  – координата в окружному напрямку,  $\zeta$  – координата в напрямку нормалі до поверхні оболонки. Навантаження, яке діє на оболонку, є осесиметричним. Це розподілене навантаження  $p_1, p_3$  та зосереджені по краям кільцеві сили  $n_{11}^0, n_{11}^L, q_1^0, q_1^L$  і моменти  $m_{11}^0, m_{11}^L$ .

Передбачається, що при деформуванні оболонки перетини

оболонки залишаються прямолінійними та перпендикулярними до деформованої серединної поверхні оболонки. Товщина оболонки при деформуванні не змінюється. Ці гіпотези відповідають відомим гіпотезам Кірхгофа-Лява.

Запишемо кінематичні співвідношення:

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \alpha_{11} + \zeta \beta_{11}, & \gamma_{22} &= \alpha_{22} + \zeta \beta_{22}, \\ \alpha_{11} &= \partial_1 v_1 + k_1 v_3 + \frac{\varphi_1^2}{2}, & \beta_{11} &= \partial_1 w_1, \\ \alpha_{22} &= \phi_1 v_1 + k_2 v_3, & \beta_{22} &= \phi_1 w_1, \\ w_1 &= -\partial_1 v_3 + k_1 v_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут  $\alpha_{11}, \alpha_{22}$  – відносні подовження елемента оболонки у напрямках  $\xi_1, \xi_2$ ;  $\beta_{11}, \beta_{22}$  – зміни кривин елемента оболонки у напрямках  $\xi_1, \xi_2$ ;  $A_1, A_2$  – параметри Ляме;  $k_1, k_2$  – головні кривини;  $v_1, v_3$  – переміщення точки серединної поверхні оболонки у напрямках  $\xi_1, \zeta$ ;  $w_1$  – кут повороту перетину оболонки при деформуванні;  $\phi_1 = A_2^{-1} \partial_1 A_2$  – коефіцієнт;  $\partial_1(\dots) \equiv A_1^{-1} \partial(\dots) / \partial \xi_1$ .

Рівняння рівноваги будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \partial_1 n_{11} + \phi_1 (n_{11} - n_{22}) + k_1 q_1 + p_1 &= 0, \\ \partial_1 m_{11} + \phi_1 (m_{11} - m_{22}) - q_1 - \underline{n_{11} w_1} &= 0, \\ \partial_1 q_1 + \phi_1 q_1 - k_1 n_{11} - k_2 n_{22} + p_3 &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n_{11}, n_{22}$  – мембранні сили,  $q_1$  – поперечна сила,  $m_{11}, m_{22}$  – згинальні моменти.

До рівнянь (1)-(2) додаються кінематичні та статичні граничні умови при  $\xi_1 = \xi_1^0$  та  $\xi_1 = \xi_1^L$ . Доданки підкреслені в рівняннях відносяться до геометричної нелінійності.

Фізичні рівняння формулюються для швидкостей деформацій та швидкостей силових факторів:

$$\begin{aligned} \dot{n}_{11} &= \frac{Eh}{1-\nu^2} (\dot{\alpha}_{11} + \nu \dot{\alpha}_{22}) - \dot{n}_{11}^*, \\ \dot{m}_{11} &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} (\dot{\beta}_{11} + \nu \dot{\beta}_{22}) - \dot{m}_{11}^*, \\ \dot{n}_{22} &= \frac{Eh}{1-\nu^2} (\dot{\alpha}_{22} + \nu \dot{\alpha}_{11}) - \dot{n}_{22}^*, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{22} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} (\dot{\beta}_{22} + \nu\dot{\beta}_{11}) - \dot{m}_{22}^*,$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона,  $h$  – товщина оболонки.

Доданки  $n_{11}^*, n_{22}^*, m_{11}^*, m_{22}^*$  описують нелінійне деформування:

$$\begin{aligned} \dot{n}_{11}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{11}^* + \nu\dot{\gamma}_{22}^*) d\zeta, & \dot{n}_{22}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{22}^* + \nu\dot{\gamma}_{11}^*) d\zeta, \\ \dot{m}_{11}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{11}^* + \nu\dot{\gamma}_{22}^*) \zeta d\zeta, & \dot{m}_{22}^* &= \frac{E}{1-\nu^2} \int_{-h/2}^{h/2} (\dot{\gamma}_{22}^* + \nu\dot{\gamma}_{11}^*) \zeta d\zeta, \end{aligned}$$

де швидкості нелінійних деформацій  $\dot{\gamma}_{11}^*, \dot{\gamma}_{22}^*$  визначаються обраною моделлю нелінійного деформування та залежить від напружень і структурних параметрів.

Розв'язувальну систему рівнянь отримаємо, якщо продиференціювати за часом геометричні рівняння та рівняння рівноваги. Лінеаризована початково-крайова задача сформульована відносно швидкостей основних невідомих. Початковою умовою для початково-крайової задачі буде розв'язок задачі пружності для конструкції, що розглядається.

Для розв'язку початково-крайової задачі використовуємо чисельні методи продовження розв'язку за параметром і дискретної прогонки з ортогоналізацією розв'язків С.К.Годунова. Початкова задача інтегрувалась за схемою вкладеного методу Рунге-Кутта-Мерсона.

Розглянемо розрахунок круглого кільцевого пластинчастого елемента виготовленого з алюмінієвого сплаву. Пластина жорстко закріплена по зовнішньому краю та вільна по внутрішньому краю. Геометричні розміри та навантаження пластини приймалися: товщина  $h = 0,003$  м, зовнішній радіус  $R = 0,04$  м, внутрішній радіус  $r_0 = 0,01$  м,  $p_3 = 0,3$  МПа. В розрахунках використовується модель повзучості з пошкоджуваністю [3]. На Рис. 1 показано розподіл прогину пластини по радіальній координаті. Для порівняння приведено розв'язок задачі без урахування геометричної нелінійності. Величина прогину отриманого по моделі з урахуванням геометричної нелінійності майже у два рази менше ніж прогин отриманий по моделі без урахування геометричної нелінійності. Цей ефект можна пояснити тим, що пошкоджуваність в моделі з урахуванням геометричної нелінійності накопичується більш повільно. Це відбувається за рахунок наявності подовжніх сил, які

розтягують пластину у її площині та, таким чином, величина напружень згину зменшується на величину напружень розтягу.

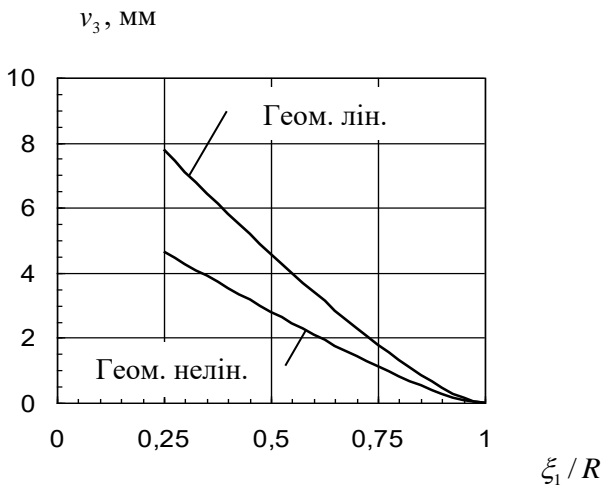


Рис. 1. Розподіл прогину пластини по радіальній координаті

**Висновки:** При розрахунках тонкостінних елементів обладнання по моделі з урахуванням геометричної нелінійності отримуємо рівень прогину майже у два рази менше ніж без урахування. Таким чином розрахунок обладнання по більш точним моделям дає можливість правильно оцінити рівень внутрішнього навантаження та зменшити матеріалоємність обладнання. Використання при проектуванні обладнання переробних і харчових виробництв моделі з урахуванням геометричної нелінійності дає змогу більш повно та більш раціонально використовувати можливості обладнання по міцності.

### Список літератури

1. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. М.:Машиностроение, 1983. – 447 с.
2. Остриков А.Н., Абрамов О.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с.
3. Altenbach H., Morachkovsky O., Naumenko K., Sychov A. Geometrically nonlinear bending of thin-walled shells and plates under

creep-damage conditions // Archive of Applied Mechanics. – 1997. – №67. – P. 339-352.

4. Галишин А.З., Шевченко Ю.Н. Определение осесимметричного геометрически нелинейного термовязкоупругопластического состояния тонких слоистых оболочек с учетом повреждаемости материала // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2008. – Вып. 51, № 2. – С. 175-187.

5. Сичов А.І., Сичова Т.О. Розрахунки на міцність тонкостінних елементів обладнання переробних і харчових виробництв зі зниженою жорсткістю // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Харків, ХНТУСГ, 2017. – №2(1) – С.79-82.

#### **Аннотация**

### **РАСЧЕТЫ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ПРОЧНОСТЬ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ**

*В статье рассматривается применение теории оболочек с учетом геометрической нелинейности для расчетов прочности тонкостенных элементов оборудования перерабатывающих и пищевых производств. В расчетах учтено также накопление повреждаемости при ползучести. Представлен вид разрешающих уравнений и метод решения. Приводятся результаты расчетов прочности круглых пластинчатых элементов оборудования.*

#### **Abstract**

### **STRENGTH CALCULATIONS THIN-WALLED ELEMENTS OF EQUIPMENT FOR PROCESSING AND FOOD MANUFACTURES WITH GEOMETRIC NONLINEARITY**

*In article it is considered use of theory of shells with geometric nonlinearity for calculating the strength of thin-walled elements of equipment for processing and food manufactures. The calculation also takes into account the accumulation of damage during creep. Generalized final equalizations and method of solution are presented. Results of strength calculations for round plate elements of equipment are resulted.*

УДК 621.86

## ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕЛЕСКОПІЧНИХ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Гудь В.З., к.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя)

*У статті проаналізовано динамічні процеси, які виникають при роботі телескопічних гвинтових транспортерів.*

**Постановка задачі.** Телескопічні гвинтові транспортери, які призначені для переміщення сипких середовищ, можуть обертаються із значними кутовими швидкостями (до 800 об/хв. і вище). Реально існуючі у середовищах окремі неоднорідні включення, несиметричність телескопічного гвинта та зовнішні збурення приводять в багатьох випадках до його коливань, а відтак до значних динамічних навантажень у ньому [1]. Їх величина зростає у так званих резонансних випадках. До того, гвинт транспортера здійснює, як правило, складні коливання: поєднання згинальних та крутильних. Дослідження таких складних процесів навіть за умови, що гвинт конвеєра можна вважати одновимірним пружним тілом, є складною задачею. Одночасно, як показують результати випробувань, у окремих випадках навіть без переміщення середовища, та дії зовнішніх періодичних збурень інтенсивність згинальних коливань значно зростає [1-3].

**Мета досліджень.** Метою досліджень є побудова математичної моделі динаміки телескопічний гвинт – сипке середовище.

**Основні матеріали досліджень.** У багатьох випадках в універсальних агрегатах-перевантажувачах сільськогосподарських вантажів для досягнення необхідної відстані перевантаження шнековий конвеєр виконується складним і розкладається-складається з допомогою гідро- чи пневмоустаткування, що робить його конструкцію надто складною і дорогою. Відтак використання принципу телескопу в шнекових транспортерах матиме широке застосування в різноманітних конструкціях сільськогосподарської та іншої техніки.

З метою аналізу функціонування телескопічних шнекових транспортерів проведено відповідні дослідження. У низці праць [4-7] проведено дослідження впливу руху суцільного потоку сипкого середовища на поздовжні чи згинальні коливання пружних тіл. На їх

базі можна стверджувати, що навіть стала швидкість переміщення сипкого середовища змінює основні динамічні характеристики одноформних (згинальних чи поздовжніх) коливань. Величина дії середовища значно зростає і з зростанням відносної кількості його руху.

Відомо [8], що математичною моделлю згинальних коливань пружного тіла, яке обертається вздовж нерухомої осі із сталою кутовою швидкістю  $\Omega$  за умови, що вздовж нього рухається зі сталою відносною лінійною швидкістю  $V$  суцільний потік однорідного середовища нульової жорсткості, служить система диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial z} - 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial w}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \\ & - 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial^3 w}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 u = \text{ef} \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right) \\ & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial u}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \\ & + 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 w = \text{eg} \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right) \end{aligned} \quad (1)$$

У (1)  $u(t, z), w(t, z)$  - проєкції вектора переміщення точки центральної осі з координатою  $z$  телескопічного гвинта в довільний момент часу  $t$  у проєкціях на осі нерухомої системи координат  $OXYZ$ . Вісь  $OZ$  вказаної системи відліку співпадає із недеформованим прямолінійним положенням гвинта шнеку,  $\Omega$  - кутова швидкість обертання гвинта навколо вказаної осі,  $\rho_1, \rho_2$  - відповідно маса одиниці довжини тіла та рухомого середовища,  $EI$  - його жорсткість на згин гвинта,

$f \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right)$  та

$g \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right)$  -  $2\pi$  - періодичні за

$\gamma = \nu t + \gamma_0$  функції, які описують нелінійні складові відновлювальної сили, сили опору та інші сили, максимальне значення котрих є значно меншим від значення відновлюючої сили, на що вказує малий параметр  $\varepsilon$ . Нижче для простоти будемо вважати, що вказані



функції є многочленами за сукупністю змінних, а із фізичного їх змісту випливає, що вони мають бути зв'язані співвідношенням

$$f\left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma\right) = g\left(u, w, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \gamma\right)$$

Що стосується складних коливань гвинта (поєднання згинальних та крутильних), то за умови, що останні описуються відомим законом  $\mathcal{G}(z, t)$  (нижче вважається що крутильні відповідають найпростішим їх математичним моделям) система рівнянь (1) трансформується до вигляду

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial z} - 2(\rho_1 + \rho_2) \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial w}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \\ & - 2(\rho_1 + \rho_2) I \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial^3 w}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right)^2 u - (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2} w = \mathcal{F}_1 \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right), \\ & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + 2(\rho_1 + \rho_2) \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial u}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \\ & + 2(\rho_1 + \rho_2) I \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \left( \Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right)^2 w + \\ & + (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2} u = \mathcal{F}_2 \left( u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right), \end{aligned} \quad (2)$$

Останні два доданки у лівих частинах рівнянь (2) виражають дотичні складові сил інерції умовно виділеного елемента телескопічного гвинта і вони зумовлені нерівномірним деформованим його обертанням (відносними крутильними коливаннями).

Динамічний процес гвинта шнеку залежить крім силових та кінематичних  $\left( \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2}, \Omega, V \right)$  чинників ще й від способу закріплення. У випадку повільно регульованої його довжини останні приймають вигляд

$$\begin{aligned} u(t, z) \Big|_{z=0} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = 0, \quad w(t, z) \Big|_{z=0} = \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = 0, \\ u(t, z) \Big|_{z=l(\tau)} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_{z=l(\tau)} = 0, \quad w(t, z) \Big|_{z=l(\tau)} = \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \Big|_{z=l(\tau)} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

і відповідають руху пружного гвинта у підшипниках віддалі між

котрими  $l(\tau)$ . Саме таким способом враховується у математичній моделі змінна довжина гвинта, причому  $l(\tau) = l_0 + \varepsilon k_1 t$ ,  $k_1$  - стала. Задача полягає у описанні основних параметрів згинальних коливань гвинта шнеку за умови що крутильні коливання описуються залежністю

$$\vartheta(x, t) = h \sin \frac{k\pi}{l(\tau)} z \cos \vartheta, \quad \vartheta = (\Theta t + \vartheta_0), \quad (4)$$

у якій  $a$  - їх амплітуда,  $\Theta = \frac{k\pi}{l(\tau)} \sqrt{\frac{GJ_0}{I_0}}$  - частота,  $\vartheta_0$  - початкова фаза,  $I_0$  - погонний момент інерції відносно нейтральної осі пружного тіла разом із середовищем,  $J_0$  - його екваторіальний момент інерції,  $G$  - модуль зсуву.

Для дослідження принципу телескопії у гвинтових транспортерах на основі проведеного патентного пошуку та аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [9] було розроблено, спроектовано та виготовлено дослідну установку, яку зображено на рис. 1.

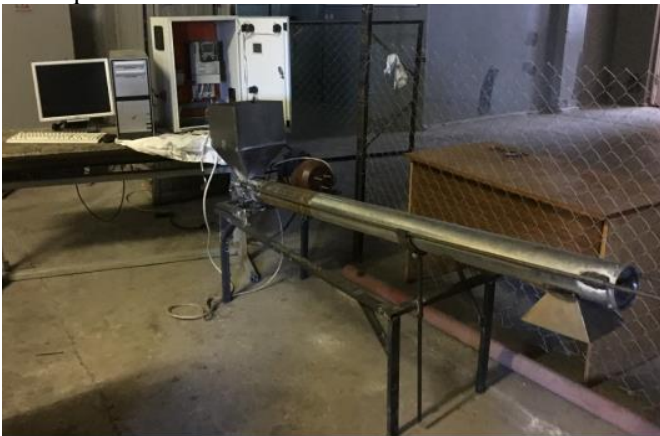


Рис. 1. Загальний вигляд стенду для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів

В дослідній установці зовнішній діаметр шнека становить 97 мм; внутрішній діаметр нерухомого патрубку - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубку - 109 мм. Рухомий

патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднувальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопічної частини гвинтового транспортера.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа, що значно впливає на час викочування та заочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому та на появу і величину крутильних і згинальних коливань. Також встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними гвинтовими конвеєрами.

### **Висновки.**

1. Встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа, що значно впливає на час викочування та заочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому та на появу і величину згинальних і крутильних коливань під час переміщення сипких вантажів.

2. Встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером є аналогічною продуктивності перевантаження цих вантажів традиційними гвинтовими конвеєрами, і не змінюється від величини викочування та видовження телескопічної частини гвинтового конвеєра.

### **Список літератури**

1. Рогатинський Р. М. та інші Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. / Рагатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Е., Тернопіль, 2014. – 280 с.

2. Гевко І. Експериментальні дослідження змішування сипких матеріалів змішувачем з пересипом/ І. Гевко, Р. Любачівський, А. Дячун// Міжвузівський зб.(за напрямом “Інженерна механіка”) “Наукові нотатки” ЛНТУ.- Луцьк, 2011.- Вип.5.-С. 51-55.

3. Oleg Lyashuk Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system// Oleg Lyashuk, Tetyana Pyndus, Olexandr Marunych MSokil/. Вісник Тернопільського національного технічного університету. Scientific

Journal of the Ternopil National Technical University.- 2016.№2(83).- 82-89

4. Сокіл Б.І. Вимушені коливання гнучких трубчастих тіл, вздовж яких рухається суцільний потік середовища. // Сокіл Б.І., Сокіл М.Б. // Вісник національного університету “Львівська політехніка” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2017-№866 .-с.60-65

5. Сокіл Б.І. Вплив швидкості поздовжнього руху на напруження у гнучких елементах систем приводів за резонансу. // Сокіл Б.І., Хитряк О.І. // Вісник НУ “ЛП” “Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні”, №702.-2011, с. 76-83.

6. Сокіл М.Б. Застосування хвильової теорії руху та асимптотичного методу для дослідження динаміки деяких класів поздовжньо-рухомих систем // Сокіл М.Б. А.І. Андрухів, О.І. Хитряк // Вісник НУ “ЛП” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, Львів, 2012, № 730. - С.114-118

7. Сокіл М.Б. Згинні нелінійні коливання одновимірних тіл, які характеризуються поздовжньою швидкістю руху, і наближене їх дослідження // Сокіл М.Б. // Вісник НУ “ЛП” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, Львів, 2010, №678. - С.97-102.

8. Федосьев В. И. О колебаниях и устойчивости трубы при протекании через нее жидкости / В.И. Федосеев // Инженерный сборник.– 1951.– Т.10.– С. 251–257.

9. Синтез телескопических гвинтовых конвейерів [І. Гевко, В. Гудь, І. Шуст та ін.] // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» – 2016. – Випуск №168, С. 85-91.

## **Аннотация**

### **ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ВИНТОВЫХ ТРАНСПОРТЕРАХ**

*В статье проанализированы динамические процессы, возникающие при работе телескопических винтовых транспортеров..*

## **Abstract**

### **DYNAMIC PROCESSES IN TELESCOPIC SCREW CONVEYORS**

*The article analyzes the dynamic processes that occur during the operation of telescopic screw conveyors.*

**ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ БІЛКОВОЇ ДОБАВКИ НА  
КОНФОРМАЦІЙНИЙ СТАН БІЛКІВ  
БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТІСТА**

**Шаніна О.М., д.т.н., проф., Гавриш Т.В., к.т.н., доц.,  
Галясний І.В., аспірант**

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*У статті досліджено теоретичні та практичні аспекти впливу концентрату тваринного білка (Сканпро Т95) на конформаційний стан біополімерів борошняного тіста на основі безглютенової сировини. Встановлено, що смуга коливання Амід А свідчить про наявність міжмолекулярних водневих зв'язків, а детальний аналіз смуги коливання Амід II свідчить про утворення додаткових піків для зразків тіста з борошняної суміші (особливо в присутності Сканпро Т95), що вказує на утворення паралельного упакування поліамідних ланцюгів та відповідні міжмолекулярні білок-білкові взаємодії*

**Ключові слова:** *безглютенове борошно, концентрат тваринного білка, конформаційний стан біополімерів, міжмолекулярні взаємодії.*

**Постановка задачі.** Асортимент безглютенових борошняних виробів на ринку України формується в основному за рахунок імпоротної продукції, яка має досить високу вартість. Крім того, більшість доступних в країні безглютенових продуктів є борошняними кондитерськими виробами або сумішами для випічки в домашніх умовах. Зрозуміло, що приготування низки харчових продуктів з виключенням глютену є в першу чергу дієтичним аспектом. Але у виробництві безглютенових хлібобулочних виробів відсутність глютену стає серйозним технологічним викликом і вимагає вирішення низки технологічних питань.

Білки зазвичай включаються в безглютенове тісто для того, щоб збільшити модуль пружності шляхом перехресного зшивання, підвищити притаманну якість за рахунок покращення смаку та аромату, а також поліпшення структури за допомогою драглеутворення та спінення [1, 2]. Тому, дослідження конформаційного стану білків борошняного тіста є вкрай важливим для розуміння можливих механізмів регулювання структури

безглютенового тіста за наявності білкової добавки.

**Мета досліджень.** Метою дослідження було встановити можливість впливу білкової добавки на конформаційний стан біополімерів борошняного тіста на основі безглютенової борошняної сировини.

Узагальнення даних проводили, базуючись на експериментальних дослідженнях із застосуванням ІЧ-спектроскопічного аналізу.

**Основні матеріали досліджень.** Інфрачервона спектроскопія – це сучасний і точний метод вивчення будови молекул. Інтерпретація зсувів характеристичних частин і їхньої інтенсивності дозволяє пояснити вплив різних факторів на конформаційні зміни в макромолекулах біополімерів. З усього випромінювання, яке падає, молекула поглинає випромінювання тільки в тих значеннях довжини хвиль, які можуть змінити її енергетичний стан. Найчастіше для аналізу білків застосовують такі смуги ІЧ-спектрів [3] (рис. 1): смуга Амід А –  $3300\text{ см}^{-1}$ ; іноді  $3100 - 3080\text{ см}^{-1}$  (Амід В); Амід І –  $1700-1600\text{ см}^{-1}$ ; Амід ІІ –  $1600-1500\text{ см}^{-1}$ ; Амід ІІІ –  $1350-1570\text{ см}^{-1}$ .

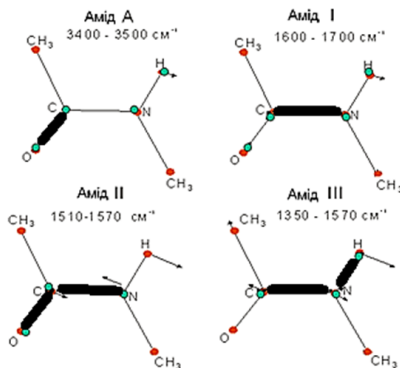


Рис. 1. Діапазони частот різних амідних смуг у модельних структурах

Основні положення максимуму смуг поглинання у спектрі води, обрані нами для дослідження, наступні: крутильне  $V_L - 780\text{ см}^{-1}$ ; деформаційне  $V_2 - 1645\text{ см}^{-1}$ ; складове  $V_L + V_2 - 2150\text{ см}^{-1}$ ; валентне симетричне  $V_1 - 3450\text{ см}^{-1}$ ; валентне асиметричне  $V_3 - 3600\text{ см}^{-1}$ ; обертони  $2V_2 - 3290\text{ см}^{-1}$  [4].

Об'єктами досліджень були зразки тіста з наступних видів борошна: рисового ( $B_{рис}$ ), кукурудзяного ( $B_{кук}$ ) та їх суміш відповідно 70/30 % без добавок та в присутності концентрату тваринного білка

Сканпро Т95 (КТБ). У якості рідкої фази тіста застосовували воду.

Результати представлено на рис. 2, 3 та в табл. 1. Основні відмінності стосуються піків поглинання, позначених на рис. 2 як А, Б, В, Г, Д, Ж та З.

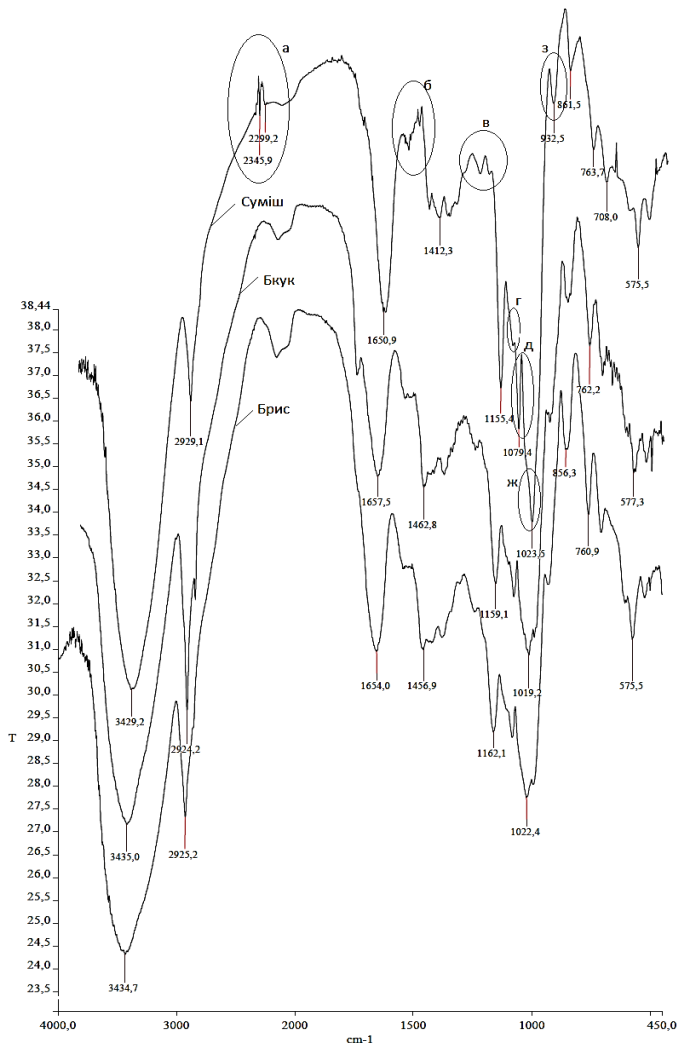


Рис. 2. Порівняльний аналіз ІЧ-спектрів тіста з борошна рисового, кукурудзяного та їх суміші 70/30 %

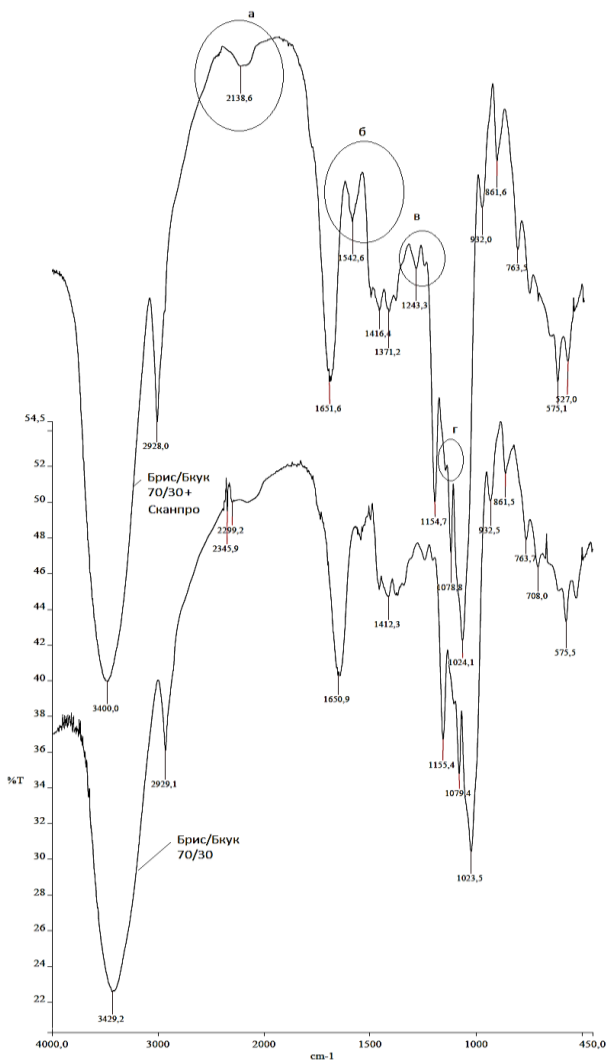


Рис. 3. Порівняльний аналіз ІЧ-спектрів тіста з борошняної суміші Б<sub>рис</sub>/Б<sub>іук</sub> 70/30% з додаванням Скандро Т95

Як видно зі спектрів, пік смуги поглинання Амід А за інтенсивністю є приблизно однаковим для всіх зразків. Широка смуга поглинання в інтервалі 3450...3200  $\text{cm}^{-1}$  свідчить про наявність міжмолекулярних водневих зв'язків. Зазначимо, що частоту основного максимуму в інтервалі від 3280 до 3310  $\text{cm}^{-1}$  мають  $\alpha$ - і  $\beta$ -



форми поліпептидів, а також конформація неупорядкованого клубка білкової макромолекули. Пік поглинання в області 2900...2850 см<sup>-1</sup> відповідає валентним коливанням С-Н у -СН<sub>3</sub> та -СН<sub>2</sub>-, які притаманні напевне боковим радикалам різної природи. Спектри усіх зразків мають інтенсивну смугу карбонільного поглинання (Амід І).

Таблиця 1

**Дані інтерпретації ІЧ-спектрів зразків тіста з борошна рисового, кукурудзяного, суміші Б<sub>рис</sub>/Б<sub>кук</sub> 70/30% та з додаванням КТБ**

Діапазон хвильових чисел смуги поглинання, см <sup>-1</sup>	Вид коливання	Положення максимуму поглинання, см <sup>-1</sup>			
		Б <sub>рис</sub>	Б <sub>кук</sub>	70/30	70/30+ КТБ
3450 / Валентні коливання –ОН (сильні)		3434	3435	3429	3400
3400...3300 / Амід А					
2950...2850 / Валентні коливання С-Н у -СН <sub>3</sub> та -СН <sub>2</sub> - (слабкі коливання)		2925 плече	2924 2853	2929	2928
2200...2100 / Вода, складове V <sub>L</sub> + V <sub>2</sub>		2155	2154	-	2138
1725...1700 / Коливання RCOOH		-	1742 1757 1762	1738 плече	-
1700...1600 / Амід І		1654	1657	1650	1651
1575...1480 / Амід ІІ		1456	1462	1544, 1417 1379	1542, 1416 1371
1300...1230 / Амід ІІІ		-	-	1244	1243
1160 / Валентні коливання >C=O та >C-C<O; деформаційні маятникові >СН <sub>2</sub> ; деформаційні >C-OH; складно-ефірних сульфатних зв'язків		1162	1159	1155	1154
1030...1100 / Ймовірні скелетні коливання пептидної групи		-	1006 плече	1104	1104
		1082	1083	1079	1078
		1022	1019	1023	1024
930 / Коливання містку 3,6-ангідро-галактози		925	-	932	932
850 / Коливання містку С-О-S у зв'язку з С-4		856	854	861	861

Спектральні характеристики смуг Амід І усіх зразків тіста (а саме, ширина цих смуг) дозволяють зробити припущення щодо

можливості існування різних молекулярних форм білків ( $\alpha$ -спіралей і  $\beta$ -форм).

Детальний аналіз смуги коливання Амід II свідчить, що для зразків тіста з борошняної суміші спостерігається розщеплення цієї смуги на два компоненти – додатково з'являються піки  $1542\text{ см}^{-1}$  та  $1544\text{ см}^{-1}$  (особливо в присутності КТБ). Це однозначно вказує на утворення паралельного упакування поліамідних ланцюгів та відповідні міжмолекулярні білок-білкові взаємодії. Також у вказаних зразках з'являються смуги поглинання Амід III, що може бути пов'язано зі скелетними коливаннями бокових ланцюгів за участю кутів типу CCH.

На підтвердження цієї думки, поява піків поглинання  $1104\text{ см}^{-1}$  та посилення інтенсивності піків поглинання  $1079\text{ см}^{-1}$  та  $1023\text{ см}^{-1}$ . Можливо, підсилення вказаних змін зумовлює зменшення коливання містку C-O-S ( $861\text{ см}^{-1}$ ).

**Висновки.** Таким чином, встановлені зміни ІЧ-спектрів досліджених зразків тіста можуть бути пояснені наступними обставинами: по-перше, виникненням міжмолекулярних взаємодій між білковими макромолекулами та, по-друге, певним обмеженням рухомості молекул води в тісті. Припущення, що вказані обставини є наявними, підтверджено відмінностями в характері зв'язування іонів білковими речовинами в присутності добавок [5].

### Список літератури

1. J. Taylor, and C. Rosell, "Functionality of cereal based non-gluten dough systems", *Journal of Cereal Science*, vol. 67, pp. 1-122, 2016.
2. J. R. N. Taylor, J. Taylor, O. H. Campanella, and B. R. Hamaker, "Functionality of the storage proteins in gluten-free cereals and pseudocereals in dough systems", *J. Cereal Sci.*, vol. 67, pp. 22-34, 2016.
3. Л. Беллами, "Инфракрасные спектры сложных молекул", Москва, Россия: Изд-во иностр. л-ры, 1963.
4. Г. В. Юхневич, "Инфракрасная спектроскопия воды", Москва, Россия: Наука, 1973.
5. І. В. Галясний, Т. В. Гавриш, та О. М. Шаніна, "Дослідження іонозв'язувальної здатності білків безглютенового борошна в

присутності тваринних білків", Вісник НТУ «ХП». Нові рішення в сучасних технологіях, № 9(1285), с. 179-184, 2018.

### **Аннотация**

#### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БЕЛКОВОЙ ДОБАВКИ НА КОНФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕЛКОВ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТЕСТА**

*В статье исследованы теоретические и практические аспекты влияния концентрата животного белка (Scanpro T95) на конформационное состояние биополимеров мучного теста на основе безглютенового сырья. Установлено, что полоса колебания Амид А свидетельствует о наличии межмолекулярных водородных связей, а детальный анализ полосы колебания Амид II свидетельствует об образовании дополнительных пиков для образцов теста на основе мучной смеси, что указывает на образование параллельной упаковки полиамидных цепей и соответствующие межмолекулярные белок-белковые взаимодействия.*

**Ключевые слова:** *безглютеновая мука, концентрат животного белка, конформационное состояние биополимеров, межмолекулярные взаимодействия.*

### **Abstract**

#### **RESEARCH OF PROTEIN SUPPLEMENT ON CONFORMATIONAL STATE OF PROTEINS OF GLUTEN-FREE DOUGH**

The article studies theoretical and practical aspects of influence of animal protein concentrate (Scanpro T95) on conformational state of flour dough biopolymers based on gluten-free raw materials.

It was established that Amid A vibration band indicates presence of intermolecular hydrogen bonds, and a detailed analysis of the Amid II vibration band indicates the formation of additional peaks for the dough samples based on flour mixture, which indicates the formation of parallel packing of polyamide chains and corresponding intermolecular protein-protein interactions.

**Keywords:** *gluten-free flour, animal protein concentrate, conformational state of biopolymers, intermolecular interactions.*

УДК 641.56:582.661.21

## ВПЛИВ ДОБАВОК БІЛКОВОЇ ТА ПОЛІСАХАРИДНОЇ ПРИРОДИ НА ВОЛОГОУТРИМУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ БЕЗКЛЕЙКОВИННОГО ТІСТА

Шаніна О.М., д.т.н., проф., Боровікова Н.О., аспірант,

Гавриш Т.В., к.т.н., доц., Дугіна К.В., к.т.н.,

Фейзопуло О.Е., студентка

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*Досліджено можливість використання добавок різного дії в технології виробів з безклейковинної борошна. Досліджено вплив агару, желатину, а також їх спільного використання на вологудерживающую здатність тесту. Встановлено, що при використанні агару в концентрації 75% до маси борошна, а також спільного використання желатин / агар в концентрації 0,1%...0,05% вологудерживающая здатність істотно зростає. Використання таких добавок дозволяє збільшити свіжість продукту на більш тривалий період.*

Вода є важливим рецептурним компонентом та дієвим чинником будь-якого технологічного процесу, включаючи процес тістоутворення. Під час приготування тіста вода взаємодіє з його компонентами шляхом утворення додаткових водневих зв'язків з біополімерами борошна. Для здійснення гідролітичних процесів, що протікають в тісті при бродінні і випічці, необхідна наявність в ньому вільної вологи. Встановлено [1], що в тісті з пшеничного борошна за його стандартної вологості у вільному стані знаходиться більше 50% від загальної кількості води, решта припадає на зв'язану.

Здатність борошна поглинати та зв'язувати воду, а також здатність тіста та хліба утримувати її з певним ступенем зв'язаності відіграє важливу роль у хлібопекарному виробництві. Від цього залежить якість та строки зберігання готового продукту. Чим вище вологудерживающая здатність борошна та тіста, тим більш стійкими до розпливання є тістові заготовки під час розстоювання та на початковому етапі випікання, тим менш схильними до усихання є вироби. Зазначимо, що суттєвим чинником, що впливає на здатність

борошна зв'язувати воду, є білкові речовини сировини. В першу чергу, йдеться про водонерозчинні фракції клейковинних білків. Застосування у хлібопеченні безглютенової борошняної сировини свідчить що такі білки суттєво відрізняються за своїми властивостями від клейковинних білків пшеничного борошна, зазвичай в гірший бік. Навіть пшеничного білки слабкої клейковини виявляють знижену здатність до зв'язування вологи і утворення пружно-еластичного тіста.

Для регулювання вологоутримуючої здатності борошна та тіста фахівці пропонують застосовувати добавки різного хімічного складу та походження, а саме сою, ферменти, мікрородорості та ін. [2-5]. Перелічені добавки мають ряд переваг, але основним недоліком при їх застосуванні є низька пористість хліба.

Відомо, що для підвищення вологоутримуючої здатності борошна і тіста можна використовувати мінеральні сполуки (амонієві солі ортофосфатної кислоти, ортофосфати натрію і калію) [6-8]. Недоліками цих добавок є недостатня ефективність дії для підвищення питомого об'єму, пористості і формостійкості хліба.

Наразі одними з найбільш ефективних добавок для поліпшення вологоутримуючої здатності визнано гідроколоїди рослинного походження [9, 10]. Їх рекомендовано застосовувати в технологіях хлібопекарських виробів як з пшеничного борошна, так і з безглютенової борошняної сировини. Ефективність їхньої дії достатньо детально досліджена і експериментально доведена. Слід зазначити, що найчастіше це стосується окремих груп полісахаридних добавок. Даних щодо сумісної дії гідроколоїдів різного походження (рослинного, тваринного, мікробіологічного) в технології хлібопекарських продуктів практично відсутні.

Проте, відомо, що більшість гідроколоїдів володіє синергізмом по відношенню один до одного. Так, ксантанова камідь володіє синергізмом до більшості загусників і структуроутворювачів. Синергічний ефект може бути досягнутий також за комбінування драглеутворювачів або загусників з біополімерами білкового походження. Найчастіше він спостерігається з білками молока, тому сучасні рецептури морозива містять білки та полісахариди.

Справа в тому, що полісахариди посилюють та доповнюють структуроутворювальні функції білків. Це зумовлено здатністю

полісахаридів утворювати високов'язкі розчини та гелі за концентраціях значно менших, ніж білки [11].

Вченими [12] досліджено реологічні властивості змішаних агаро-желатинових драглів, які мають підвищену пластичність та знижену пружність. Авторами [13] досліджено взаємодію між фурцелараном та сироватковим альбуміном разом з  $\beta$ -лактоглобуліном.

Запатентовано [14] спосіб виготовлення комплексного драглеутворювача на основі полісахариду та пептидного матеріалів. Стверджують, що білок-полісахаридні взаємодії у водних розчинах відбуваються за рахунок утворення попереково-зв'язаної сітчастої структури полімеру.

Досліджено вплив гліцерину та агару на реологічні властивості драглів желатину [15]. Запатентовано новий комплексний драглеутворювач – суміш агару та желатину [16].

Вченими [17, 18] доведено, що в суміші білка сироватки та карагенану мікроструктура драгля утворюється внаслідок конкуренції між процесом драглеутворення скупчень білка, а також внаслідок розділення фаз між скупченнями білка та молекулами полісахариду.

На нашу думку, застосування гідроколоїдів для поліпшення структури тіста є доцільним. По-суті, тісто є системою, яка включає воду, білкові речовини і полісахарид в найбільшій кількості. Тому вивчення особливостей процесу утримання вологи борошном із застосуванням гідроколоїдів різного походження, безумовно, має науковий і практичний інтерес.

**Мета досліджень.** Метою дослідження було вивчення вологоутримуючої здатності рисового борошна в присутності поліпшуючих добавок білкової (желатин) і полісахаридної (агар) природи.

**Об'єкти та методи досліджень.** Об'єктами досліджень було обрано борошно рисове (ТМ «Сто пудів»); вода питна; желатин (ТМ «Мрія») та агар (ТМ «Приправка»). Відбір і підготовку проб проводили за єдиною методикою за ГОСТ 27668-88. Визначення втрат вологи проводили за допомогою вагів-вологоміру ADGS-50, застосовуючи термогравіметричний метод, який полягає у визначенні маси підготовленого зразка до і після його висушування

шляхом нагрівання.

**Основні матеріали досліджень.** На першому етапі досліджень вивчали вплив виду (агар, желатин, агар та желатин сумісно) і кількості добавок (0,5 та 1 г на 100 г борошна) на швидкість випаровування вологи зі зразків тіста під час сушіння. Досліджували борошняне тісто зі співвідношенням борошно:вода як 100:100, 100:140 та 100:160. Результати експериментальних досліджень для зразків зі співвідношеннями 100:100 та 100:160 наведено на рис.1-2.

Аналіз кривих свідчить, що для всіх зразків спостерігається загальна закономірність – існування двох етапів, протягом яких швидкість втрати маси при сушінні суттєво. На першому етапі сушіння (10 хв від початку сушіння) швидкість випаровування вологи і зниження маси тіста стрімко зростає. На другому етапі (після 10 хв сушіння) швидкість випаровування знижувалась, а після 15 хв - практично не змінювалась.

Як видно з кінетичних кривих, всі зразки втрачають 85-90% вологи на першому етапі сушіння. Найбільш виразно це можна побачити у зразках з додаванням агару та сумісного використання агару та желатину. Встановлено, що зразки з добавками мають нижчу кількість видаленої вологи. Це підтверджує високу вологоутримуючу здатність цих добавок.

Результати експериментальних досліджень вказують на те, що вологоутримуюча здатність рисового борошна обумовлюється насамперед великим вмістом в ньому крохмалю 72-80%, який представлено амілозою та амілопектином.

За рівного співвідношення борошна й води (рис. 1), внесення агару у кількості 0,5...1,0% прискорює швидкість випаровування вологи з рисового тіста у перші 5 хвилин сушіння на 11...18%. Внесення желатину суттєво не впливає на зміну швидкості випаровування вологи з тіста.

Внесення суміші агару та желатину призводить до уповільнення випаровування вологи з тіста на 23...28%. Такий результат можна пояснити тим, використання комбінації структуроутворювачів білкової та полісахаридної природи сприяє утворенню додаткових гідрофільних зв'язків та зниженню швидкості випаровування вологи.

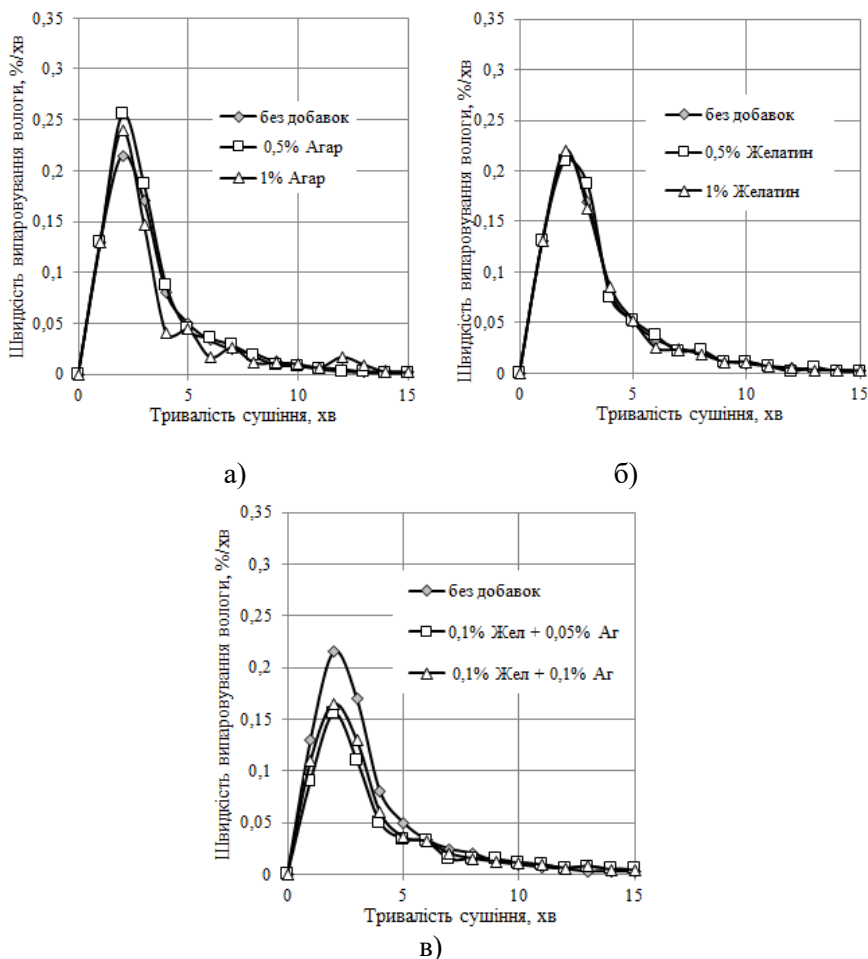


Рис. 1. Швидкість втрати вологи при сушінні тіста з борошна рисового (співвідношення борошно:вода як 100:100) з додаванням агару (а) та желатину (б) харчових, та їх суміші (в) (% до маси борошна)

Підвищення вологості тіста до співвідношення борошно:вода 1:1,4 показали подібну тенденцію, але при додаванні більшої кількості вологи (співвідношення 1:1,6, рис.2) спостерігається зміна закономірностей випаровування вологи залежно від наявності добавок. Усі зразки при внесенні агару та желатину, а також у суміші показують зниження швидкості випаровування вологи з тіста.



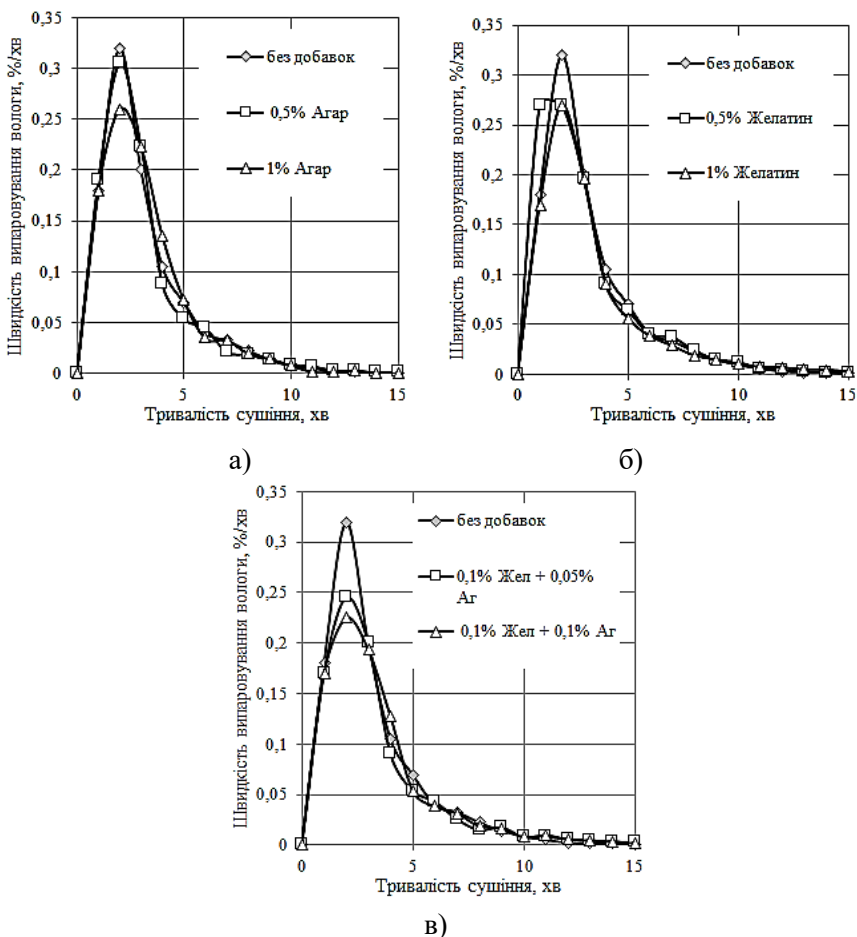


Рис. 2. Швидкість втрати вологи при сушінні тіста з борошна рисового (співвідношення борошна:вода 100:160) з додаванням агару (а) та желатину (б) харчових, та їх суміші (в) (% до маси борошна)

Застосування агару у тісті з підвищеною вологістю призводить до зниження швидкості випаровування вологи на 19%, внесення желатину – на 15%, сумісне застосування цих добавок – на 30%.

Для проведення кількісного аналізу швидкості випаровування вологи з рисового борошна нами розраховано середню швидкість втрати маси зразка протягом першого (від 0 до 5 хв) та другого (від 5 до 10 хв) періоду сушіння (табл.1). Як видно з оброблених експериментальних даних, з підвищенням вологості тіста

ефективність вологоутримуючої дії добавок за сумісного їх введення стає більш суттєвою.

Таблиця 1

**Середня швидкість втрати маси під час сушіння зразків рисового борошна за різної вологості та вмісту добавок (n=3, P<0.05)**

Період сушіння *	Середня швидкість втрати маси зразка, %/хв, в присутності добавок						
	без добавок	Агар		Желатин		0,1% Желатин	
		0,5%	1%	0,5%	1%	0,05% Агар	0,1% Агар
Співвідношення борошно:вода як 100:100							
перший	0,129	0,141	0,120	0,131	0,130	0,088	0,100
другий	0,020	0,020	0,015	0,021	0,018	0,017	0,018
Співвідношення борошно:вода як 100:160							
перший	0,175	0,172	0,174	0,178	0,157	0,011	0,011
другий	0,024	0,021	0,022	0,025	0,022	0,022	0,023

\* Перший - від 0 до 5 хв, другий - від 5 до 10 хв

Бачимо, що за сумісного додавання агару та желатину в значно менших кількостях (0,05...0,1% до маси борошна) порівняно зі зразками, що містять окремо агар (0,5...1,0%) або желатин (0,5...1,0%), водоутримувальна здатність рисового тіста суттєво підвищується. Так, на першому етапі сушіння тіста (100:100) середня швидкість втрати маси дорівнює для контрольного зразка 0,129 %/хв, за сумісного введення добавок - 0,088...0,100 %/хв. А для зразка тіста підвищеної вологості - 0,011 %/хв відповідно. Тобто, підвищення вологості тіста без добавок призводить до зростання швидкості видалення вільної води, а за сумісного їх введення - до дуже суттєвого зниження (приблизно в 15 раз).

Такий результат можна пояснити тим, що при збільшенні кількості води у тісті доступ води до гідрофільних сполук структуроутворюючих добавок збільшується, тому добавки найяскравіше проявляють вологозв'язувальні властивості в суміші. Можна припустити, що створюються умови для утворення змішаних білково-полісахаридних драглеподібних систем з більш високою водозв'язувальною здатністю. Проте, це припущення потребує додаткових експериментальних досліджень стану вільної і зв'язаної

вологи в тісті.

**Висновки.** Доведено ефективний вплив добавок білкової та полісахаридної природи на водоутримуючу здатність тіста. Більш наглядно це спостерігається при додаванні суміші агару та желатину в тісті з підвищеною вологістю. Швидкість випаровування вологи в таких умовах суттєво знижується. Це дозволить отримати вироби більш стійким до черствіння і як наслідок зберегти свіжість хліба на більш довгий термін.

### Список літератури

1. Цыганова Т.Б., Гакова О.А. Улучшение качества хлебобулочных изделий на основе регулирования свойств воды // Хлебопечение России. №1. 2012. с. 20-21.

2. Ngemakwe, P. N., Le Roes-Hill, M., Jideani, V. (2014). Advances in gluten-free bread technology. *Food Science and Technology International*, 21 (4), 256–276. doi: 10.1177/1082013214531425

3. Bird, L. G., Pilkington, C. L., Saputra, A., Serventi, L. (2017). Products of chickpea processing as texture improvers in gluten-free bread. *Food Science and Technology International*, 23 (8), 690–698. doi: 10.1177/1082013217717802

4. García-Segovia, P., Pagán-Moreno, M. J., Lara, I. F., Martínez-Monzó, J. (2017). Effect of microalgae incorporation on physicochemical and textural properties in wheat bread formulation. *Food Science and Technology International*, 23 (5), 437–447. doi: 10.1177/1082013217700259

5. Boubaker, M., Omri, A. E., Blecker, C., Bouzouita, N. (2016). Fibre concentrate from artichoke (*Cynara scolymus* L.) stem by-products: Characterization and application as a bakery product ingredient. *Food Science and Technology International*, 22 (8), 759–768. doi: 10.1177/1082013216654598

6. Aleshkov A. V. Food industry – innovation industry: monograph. Khabarovsk: HIC, 2016. 188 p.

7. Buldakov A. Nutritional supplements: directory. 2 nd ed., pererab. and additional. Moscow: St. Petersburg, 2008. 280 p.

8. Bharath Kumar S., Prabhasankar P. Low glycemic index ingredients and modified starches in wheat based food processing: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2014. Vol. 35, Issue 1. P. 32–41. doi: 10.1016/j.tifs.2013.10.007

9. Chugunova O. V., Pastushkova E. V. Modeling of organoleptic indicators of bread with plant supplements // *Bulletin of the South Ural*

State University. Series Food and Biotechnology. 2015. Vol. 3, Issue 4. P. 80–87. doi: 10.14529/food150411

10. Roslyakov Yu. F., Vershinina O. L., Gonchar V. V. Scientific developments for bakery and confectionary industries // Technologies of food and processing industry AIC-products of healthy nutrition. 2016. Issue 6. P. 42–47.

11. Ramavatar M. Studies on “sugar-reactivity” of agars extracted from some Indian agarophytes / M. Ramavatar, P. Kamalesh, A. K. Siddhanta // Food hydrocolloids. – V. 20 (2006). –Is. 8. – P. 1206-1215.

12. Kobayashi M. Rheological properties of mixed gels / M. Kobayashi, N. Nakahama // Journal of Texture Studies, 1986. – V. 17. – Is. 2. – P. 161-174.

13. Laosa K. Interactions between furcellaran and the globular proteins bovine serum albumin and  $\beta$ -lactoglobulin / Laosa K., G.J. Brownseya S.G. // Carbohydrate Polymers. –2007. –V. 67. – P. 116-123.

14. Pat. 426577 USA AA 23 L 10524 FI. Gelation of anionic polysaccharides using protein hydrolysates [Electronic resource] / Van de Velde Freddie. – Access mode : <<http://v3.espacenet.com/publication>>.

15. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. –[3-е изд.] – М. : Диалектика, 2007. – 912 с.

16. Gelling agent comprising agar-modified gelatin and food containing said agent [Electronic resource]. – –Access mode: <<http://www.freepatentsonline.com>>.

17. Saskia de Jong Charge density of polysaccharide controls microstructure and large deformation properties of mixed gels / Saskia de Jong, Fred van de Velde // Food Hydrocolloids. –2007. – V. 21. – I. 7. – P. 1172-1187.

18. Van de Velde F. The mechanism behind microstructure formation in mixed whey protein–polysaccharide cold-set gels [Electronic resource] / F. Van de Velde, Saskia de Jong, H. Jan Klok // Food Hydrocolloids, 2008. – Access mode : <<http://www.sciencedirect.com/>>.

## **Аннотация**

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК БЕЛКОВОЙ И ПОЛИСАХАРИДНОЙ ПРИРОДИ НА ВЛАГОУДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ БЕСКЛЕЙКОВИННОГО ТЕСТА**

*Исследовано возможность использования добавок различного действия в технологии изделий из безклеиковинной муки. Исследовано влияние агара, желатина, а также их совместного использования на влагоудерживающую способность теста.*

*Установлено, що при використанні агару в концентрації 75% к масі муки, а також спільного використання желатину/агару в концентрації 0,1%...0,05% вологоудерживаюча здатність суттєво зростає. Використання таких добавок дозволяє збільшити свіжість продукту на більш тривалий період.*

## **Abstract**

### **INFLUENCE OF ADDITIVES OF PROTEIN AND POLYSACCHARIDE NATURE ON THE WATER-CONTAINING ABILITY OF A GLUTLESS-FREE TEST**

*The possibility of using additives of various actions in the technology of gluten-free flour products has been investigated. The effect of agar, gelatin, as well as their joint use on the water-holding ability of the test, was investigated. It was found that when using agar at a concentration of 75% by weight of flour, as well as the joint use of gelatin / agar at a concentration of 0.1%...0.05%, the water-holding capacity increases significantly. The use of such additives can increase the freshness of the product for a longer period.*

**УДК 664.664.4**

### **ГАЗОУТВОРЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТІСТА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПАРОВОГО ХЛІБА**

**Шаніна О.М., д.т.н., проф., Мінченко С.М.**

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*У статті досліджено вплив борошняної безглютенової сировини збагачувальної дії на газоутворювальну здатність тіста для виробництва безглютенового парового хліба. Встановлено, що в присутності ББСЗД кількість накопиченого діоксиду вуглецю в безглютеновому тісті зростає на 10...30%. Рекомендована тривалість бродіння тіста з рисового борошна з додаванням лляного складає 35...40 хв, з додаванням соняшникового – 20...30 хв, тіста з кукурудзяного борошна з додаванням кіноа або соргового – 25...35 хв.*

**Постановка задачі.** Незбалансованість раціону населення

України та всього світу в сучасних економічних умовах призводить до постійного дефіциту незамінних нутрієнтів, обов'язкових для споживання особливо при виникненні захворювань пов'язаних з функціонуванням шлунково-кишечного тракту. На жаль, на сьогоднішній день саме якість, біологічна повноцінність, безпека та цінова політика харчових продуктів не завжди відповідають вимогам хворих людей. Наразі незалежно від віку люди в 4-4,5 рази частіше хворіють на целиакію ніж 50 років тому. Крім того, проблема непереносимості глютену полягає не лише в розповсюдженні целиакії, але і поширенні харчової алергії на глютен у дітей раннього віку, що також передбачає запровадження безглютенової дієти. Тому розробка і впровадження високоякісних безглютенових продуктів є одним з першочергових завдань харчової промисловості в Україні.

На сьогоднішній день стрімко розвивається виробництво спеціалізованих продуктів харчування вільних від певних інгредієнтів і продукти, що не містять глютен є одним з найбільших сегментів цього ринку. Використання струткROUTворюючих добавок полісахаридної природи в технологіях хлібобулочних, кондитерських, макаронних виробів дозволяє імітувати структуру, подібну традиційним борошняним продуктам. Основним недоліком таких продуктів є їх знижена харчова та біологічна цінність, нестача білка, вітамінів та мінеральних речовин. Дану проблему вирішують внесенням високобілкових інгредієнтів, насамперед соєвих ізолятів і концентратів, ізолятів білків гороху, люпину, казеїнатів, Синтетичних вітамінів та мікроелементів, тощо.

Наразі вченими розроблено широкий спектр безглютенових харчових продуктів – хліба, мафінів, печива з кукурудзяного, гречаного та рисового борошна [1]. Однак, сегмент українського ринку з виробництва парового хліба досі не освоєний. Справа в тому, що паровий хліб – традиційний китайський хлібець, виготовлений з пшеничного борошна або його суміші з рисовим. Цей продукт широко розповсюджений у східних країнах (головним чином, у Китаї, Японії, Кореї, Тайланді), а також в США, Канаді та деяких країнах Європи [2]. До його переваг можна віднести сповільнення процесів всмоктування глюкози при обробці паром, що знижує глікемічний індекс; відсутність реакції меланоїдиноутворення, що знижує втрати лізину та інших водорозчинних амінокислот; відсутність шкідливих акриламідів, що не утворюються при обробці паром [3].

Для створення конкурентоздатної технології парового хліба наразі ведуться пошуки в наступних напрямках:

- адаптація та коректування світового досвіду виробництва парового хліба;
- розширення сировинної бази та асортименту безглютенових парових хлібопродуктів;
- покращання структурно-механічних властивостей парового хліба.

Розуміння основних аспектів регулювання харчової цінності безглютенового парового хліба, формування його якості, регулювання властивостей та доцільності використання збагачувальної борошняної сировини сприятиме отриманню доступного для всіх верств населення продукту з підвищеними харчовими та органолептичними показниками якості.

Традиційний паровий хліб – це продукт, вироблений з пшеничного дріжджового тіста та оброблений парою, який виник в Китаї більше 1500 років тому. За короткий час технологія його виробництва була запроваджена в інших азіатських країнах, що мало важливий вплив на культуру харчування багатьох народів Азії [4]. Сьогодні для виробництва парового хліба в азіатських країнах використовують від 15 до 70% від загальної переробки борошна, та цей показник постійно зростає [5]. Маркетингові дослідження свідчать, що найбільш крупними виробниками парового хліба є північний Китай, Філіппіни та Південна Корея [6].

Як правило, безглютенові борошняні суміші включають чотири групи харчових компонентів: борошно з високим вмістом крохмальних та некрохмальних полісахаридів; емульгатори, розпушувачі, смакові інгредієнти; гідроколоїди; високобілкові інгредієнти.

На нашу думку, найбільш перспективними добавками-поліпшувачами структури є збагачувальні борошняні добавки - соргове, лляне, кіноа та соняшникове. Як свідчить огляд літературних джерел, перелічені добавки здатні покращити структуру безглютенових виробів та їх харчову цінність завдяки високому вмісту повноцінних білків, а також макро- і мікронутрієнтів. Усі приведені дані стосуються безглютенового хліба, підданого випіканню, проте при обробці парою відбуваються інші термічні та біохімічні процеси, що здатні змінити органолептичні, структурно-механічні властивості кінцевого

продукту, а також його харчову та біологічну цінність.

**Мета досліджень.** Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості протікання бродіння безглютенового парового хліба. Тому для досягнення поставленої мети першочерговою задачею було дослідження вплив борошняної безглютенової сировини збагачувальної дії (ББСЗД) на накопичення діоксину вуглецю при виробництві парового хліба.

**Основні матеріали досліджень.** При бродінні тіста найважливішим показником ефективності процесу є газоутворююча здатність, оскільки даний показник прямим чином впливає на питомий об'єм і пористість кінцевого продукту. Зміна кислотності тіста також має велике практичне значення: при збільшенні кислотності тіста інтенсифікуються процеси набрякання та пептизації білкових речовин, що супроводжується зміною їх реологічних властивостей [7].

Важливим чинником, що обумовлює хлібопекарські властивості борошняної сировини, є інтенсивність бродіння тіста. Внесення до рецептурного складу безглютенового тіста ББСЗД з метою регулювання його технологічних властивостей суттєво впливає на інтенсивність бродіння та на активність амілолітичних ферментів борошна (рис. 1, 2).

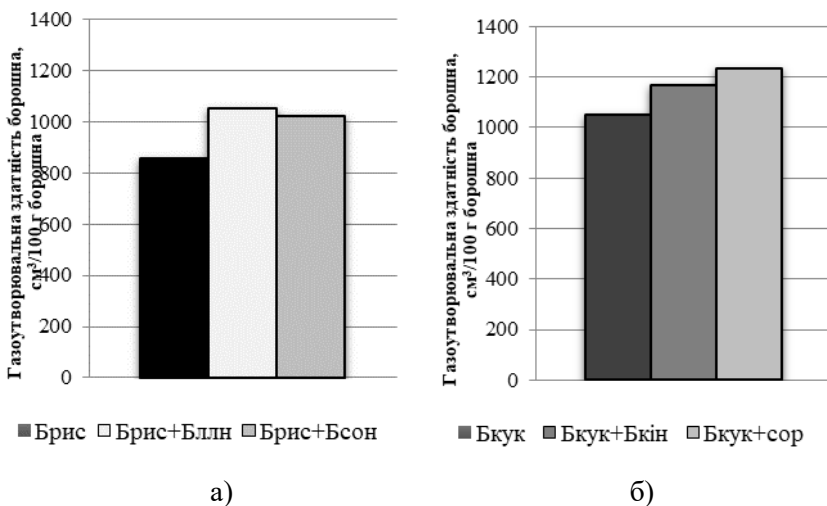


Рис. 1. Зміна газоутворювальної здатності безглютенового тіста на основі рисового борошна (А) та кукурудзяного борошна (Б)



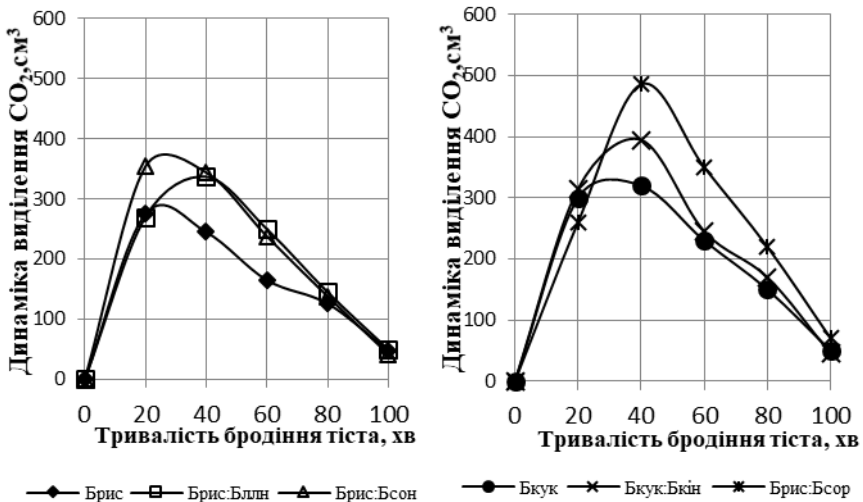


Рис. 2. Кінетика газоутворення безглютенового тіста на основі рисового борошна (А) та кукурудзяного борошна (Б)

Слід зазначити, що бродіння безглютенового тіста відбувається інтенсивніше порівняно з пшеничним, тому дослідження проводили протягом 100 хв.

Результати показують, що внесення ББСЗД призводить до зростання кількості накопичення діоксиду вуглецю в безглютеновому тісті на 10...30%. Вважаємо що така залежність обумовлена достатньою кількістю цукрів у ББСЗД, особливо в пляному та сорговому, які здатні забезпечити під час технологічного процесу виробництво продуктів високої якості.

На підставі експериментальних даних про газоутворювальну здатність борошна розраховували швидкість газоутворення в тісті (рис.2).

З метою встановлення рекомендованих режимів бродіння тіста було проведено дослідження зміни об'єму тіста. Встановлено, що внесення добавок дещо зміщують пік процесу бродіння (рис. 3).

Результати досліджень показують, що внесення ББСЗД призводить до незначного сповільнення процесу бродіння тіста. В більшості випадків пік накопичення діоксиду вуглецю зміщується на 10 хв. В усіх випадках внесення ББСЗД газоутримуюча здатність зростає, що корелює зі збільшенням питомого об'єму та пористості

хліба.

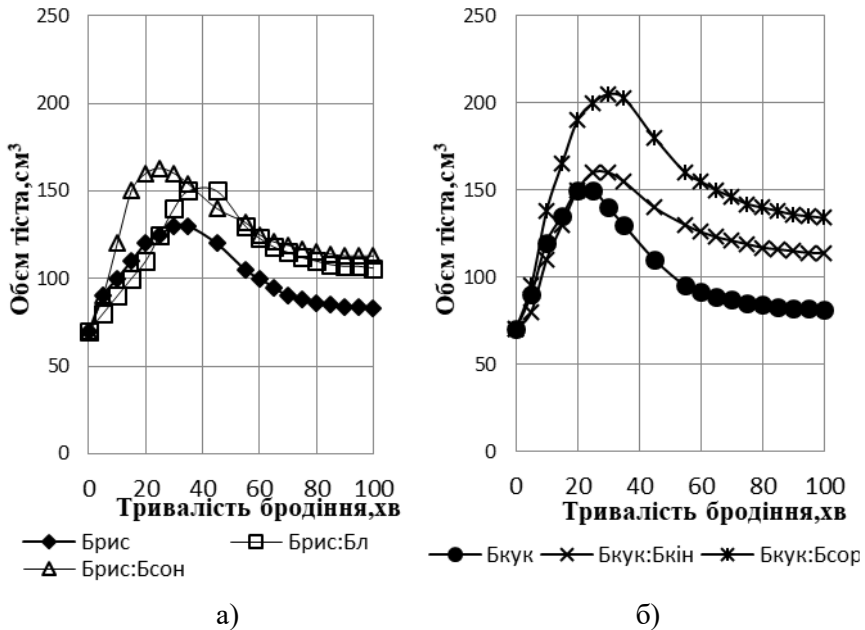


Рис. 3. Зміна об'єму тіста на основі рисового борошна (А) та кукурудзяного (Б) борошна під час бродіння

Таким чином визначено, що рекомендована тривалість бродіння тіста з рисового борошна з додаванням лляного складає 35...40 хв, з додаванням соняшникового – 20...30 хв, тіста з кукурудзяного борошна з додаванням кіноа або сорго – 25...35 хв.

**Висновки.** Отримані результати показують, що додавання БПСЗД призводить до зміни протікання основних стадій виробництва безглютенового парового хліба. В присутності ББСЗД кількість накопиченого діоксиду вуглецю в безглютеновому тісті зростає на 10...30%.

Рекомендована тривалість бродіння тіста з рисового борошна з додаванням лляного складає 35...40 хв, з додаванням соняшникового – 20...30 хв, тіста з кукурудзяного борошна з додаванням кіноа або соргового – 25...35 хв

### Список літератури

1. Дробот В., Михонік Л., Грищенко А. Особливості технологічного процесу виготовлення безбілкового хліба/

Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2010. -- №6. – С.20-22

2. Sidi Huang, Suk-Hun, Yun Ken, Quail Ray Moss Establishment of Flour Quality Guidelines for Northern Style Chinese Steamed Bread *Journal of Cereal Science* Volume 24, Issue 2, September 1996, Pages 179-185

3. Fan Zhu Influence of ingredients and chemical components on the quality of Chinese steamed bread *Food Chemistry*, Volume 163, 2014, pp. 154-162

4. Huang, S., S.H. Yun, K. Quail & R. Moss, 1996. Establishment of flour quality guidelines for north style Chinese steamed bread. *J Cereal Sci* 24: 179-185.

5. He, Z.H., 1999. Wheat production and quality requirements in China. In: P. Williamson, P. Banks, I. Haak, J. Thompson & A. Campbell (Eds.), *Proc. 9th Assembly, Wheat Breeding Society of Australia, Toowoomba*, pp. 23-28.

6. He, Z.H., Z.J. Lin, L.J., Wang, Z.M. Xiao, F.S. Wan & Q.S. Zhuang, 2002. Classification on Chinese wheat regions based on quality. *Scientia Agricultura Sinica* 35(4): 359-364.

7. Maltha, P.: The Oxidation of Ascorbic Acid and its improver Effect, in *Bread Doughs. Science of Food and Agriculture* 16, SS.474–SS.480 (1965)

8. Кузнецова Л.И. Научные основы технологии хлеба с использованием ржаной муки на заквасках с улучшенными биотехнологическими свойствами: авто- реф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01 / Л.И. Кузнецова. – М., 2010. – 50 с Исследование реологических свойств гидроколлоидов / Е. В. Запотоцкая, В. Я. Пичкур, А. В. Лысый и др. // *Science and education a new dimension*. – 2013. – Vol. 2. – С. 207-210

## **Аннотация**

### **ГАЗООБРАЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕСТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОЙ ПАРОВОГО ХЛЕБА**

*В статье исследовано влияние мучного безглютенового сырья обогатительного действия на газообразующую способность теста для производства безглютенового парового хлеба. Установлено, что в присутствии МБСОД количество накопленного диоксида углерода в безглютеновом тесте возрастает на 10...30%. Рекомендуемая продолжительность брожения теста из рисовой муки с добавлением льняной составляет 35...40 мин, с добавлением*

подсолнечной - 20...30 мин, теста из кукурузной муки с добавлением киноа или соргового - 25...35 мин.

## **Abstract**

### **GAS-FORMING ABILITY OF DOUGH FOR GLUTEN-FREE STEAMED BREAD PRODUCTION**

*Article investigates the influence of gluten-free flour raw materials with enriching effect on the gas-forming ability of the dough for the production of gluten-free steamed bread. It was found that in the presence of DFFRMEE the amount of accumulated carbon dioxide in the gluten-free test increases by 10...30%. The recommended duration of fermentation of rice flour dough with the addition of flaxseed is 35...40 min, with the addition of sunflower - 20...30 min, corn dough with the addition of quinoa or sorghum - 25...35 min.*

**УДК 633.16. 321**

### **ПИВОВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА РІЗНИХ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ**

**Пузік Л.М., д.с.-г.н., проф.**

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*Встановлено, що якісні показники зерна ячменю ярого у перші місяці його зберігання при нерегульованому температурному режимі інтенсивно поліпшуються порівняно із зберіганням його при регульованому температурному режимі. Післязбиральне дозрівання зерна пивоварних сортів ячменю ярого більш інтенсивно проходить в нерегульованих умовах. Проте, найкращу збереженість технологічних якостей зерна пивоварних сортів ячменю ярого забезпечує зберігання його в регульованому температурному режимі.*

**Постановка задачі.** Ячмінь порівняно з іншими зерновими культурами, які використовуються у пивоварінні, має суттєві переваги: росте практично повсюди; невибагливий до ґрунтово-кліматичних умов; легко переробляється при одержанні солоду; оболонки подрібненого ячмінного солоду розпушують шар дробини, що забезпечує добре фільтрування сула при розділенні затору;

склад ячмінного солоду, включаючи його ферменти, дає можливість одержати пиво з найкращими якісними показниками. В Україні ячмінь ярий щорічно вирощують на площі 3-4 млн. га. Використання зерна ячменю в якості сировини для пивоварної промисловості визначає його важливе значення в зерновому балансі. Зерно пивоварних сортів ячменю – незамінна сировина для виготовлення високоякісного пива [1]. Потреба в зерні пивоварного ячменю в Україні дедалі зростає, водночас підвищуються і вимоги щодо його якості – адже використання низькосортової сировини призводить до виробництва продукції низької якості і супроводжується перевитратами зерна. Сировина, яка використовується для приготування солоду (джерело ферментів), підбирається високоякісна і повинна відповідати державним стандартам України. Виходячи з вимог, які ставляться до сировини, у виробництві віддається перевага тим сортам, які відповідають нормі за такими фізикохімічними показниками: високий вміст екстрактивних речовин, крохмалю, нормативний вміст білка, плівчастість, вологість, натура і вирівняність, маса 1000 зерен, енергія проростання та засміченість [2]. Білкові речовини пивоварного ячменю належать до біохімічних показників якості, від вмісту яких залежить утворення ферментів при солододорощенні ячменю, розщеплення стабільних високомолекулярних речовин борошністого тіла зерна та вихід екстракту [3]. Вміст білка у зерні пивоварного ячменю характеризує важливі показники його якості. Вимоги державного стандарту України (ДСТУ 376998) регламентують вміст білка у зерні I класу на рівні не більше 11,0 %, екстрактивність має становити не менше 79,0 %, для зерна II класу не більше 11,5 % білка і не менше 77,0 % екстрактивність [4,5].

У результаті формування ринкових відносин у галузі зберігання та переробки зерна виникає гостра необхідність своєчасного отримання зацікавленими учасниками господарської діяльності повноцінної інформації щодо якості і технологічних властивостей конкретних партій зерна, про можливість зберігання його протягом тривалого часу та переробки у високоякісні і конкурентоздатні продукти харчування з найменшими економічними витратами на їх виробництво. З огляду на це було визначено мету роботи.

**Мета досліджень.** Метою роботи було вивчення впливу режимів і термінів зберігання зерна ячменю ярого на пивоварні

властивості. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- вивчити динаміку технологічних і біохімічних показників зерна ячменю ярого залежно від сортових особливостей, режимів і термінів зберігання.

**Основні матеріали досліджень.** Дослідження якості зерна ячменю залежно від режимів та тривалості зберігання проводили із використанням сортів Взірець, Скарлет, Батьорий. Дослідні сорти ячменю зберігали при двох температурних режимах: нерегульований температурний режим (контроль); 2. регульований температурний режим 5...10 °С. Тривалість зберігання ячменю становила 12 місяців. Якісні зміни у зерні визначали перед закладанням на зберігання та після 1, 3, 6, 9, 12 місяців зберігання. У зерні ячменю визначали вологість, натуру, життєздатність, вміст крохмалю та білка.

Встановлено, що під час зберігання зерна ячменю змінювалася його вологість. при зберіганні у регульованому температурному режимі у зерні ячменю сорту Батьорий після одного місяця, а у сортів Взірець та Скарлет після 3-х місяців зберігання вологість зерна підвищувалася. Після 6-ти місяців зберігання вологість зерна у сортів вирівнювалася і знаходилася на однаковому рівні. Аналізуючи зміну вологості зерна ячменю при зберіганні його у звичайному складському приміщенні (нерегульований температурний режим), ми відмічаємо подібну залежність, як і при зберіганні в регульованих умовах. Зерно різних сортів під час зберігання вело себе неоднаково. Слід відмітити, що при зберіганні зерна в однакових умовах протягом року із усіх досліджуваних сортів найменші відхилення від початкової вологості мав сорт Взірець. Найбільше коливання вологості спостерігалось в зерні сорту Оболонь.

Відповідно до отриманих даних можна зробити висновок, що вологість зерна ячменю залежить від умов та тривалості зберігання. В регульованих умовах зерно набуває стабільної для себе вологості поступово, а у звичайному сховищі цей показник веде себе пластично, постійно варіюючи відповідно до погодно-кліматичних умов.

Такий показник як вологість було недоцільно характеризувати без визначення його впливу на натуру зерна. Натурна маса зерна ячменю в процесі зберігання за різних його умов змінювалася по різному. Особливо зміни даного показника характерні під час зберігання зерна в складських умовах Аналізуючи отримані дані

можна відмітити, що зерно ячменю досліджуваних сортів мало натуру, яка відзначала придатність сортів для виготовлення пива. При зберіганні показник змінювався і коливався у наступних межах – сорт Скарлет від 654 до 658г/л, Бадьорий від 665 до 671г/л, Взірець від 628 до 637г/л. Під час зберігання натура зерна сорту Скарлет зменшилася порівняно з початковим значенням 1 г/л, сорту Бадьорий на 6г/л, сорту Взірець на 3г/л. При зберіганні зерна ячменю досліджуваних сортів у звичайних умовах натура його змінювалася відповідно до зміни вологості. Натура зерна сорту Скарлет змінювалася від 652 до 657, Бадьорий від 661 до 671, Взірець від 629 до 634. У процесі зберігання натура зерна сортів Скарлет та Взірець зменшилася на 3 г/л, а Бадьорий на 8г/л. Проте, зазначені зміни у натурі зерна ячменю не впливали на зміну показників якості зерна.

Одним із основних показників якості для зерна ячменю, що використовується на пивоварні цілі є енергія проростання зерна.

Встановлені невеликі процентні коливання життєздатності. При зберіганні зерна пивоварного ячменю в звичайному складському приміщенні життєздатність його на початкових етапах зберігання підвищується, а через рік зберігання знижується. При регульованих умовах зберігання життєздатність підвищується починаючи з першого місяця зберігання. Після 6-ти місяців та при подальшому зберіганні в таких умовах життєздатність зерна ячменю досліджуваних сортів знижується.

Крохмаль є складовою частиною ендосперму зернівки який переходить після гідролізу у водний розчин. Пивоварні сорти містять крохмалю від 60 до 64%, що відповідає 78-82% екстрактивності зерна ячменю. При цьому чим більше буде крохмалю тим менш білка. дослідженнях виявлені невеликі процентні коливання вмісту крохмалю відносно початкового його рівня в процесі зберігання. Так, у зерні сорту Скарлет цей показник варіював у межах від - 0,8% до +0,3%, у сорту Бадьорий - на +2,3%, Взірець - від -0,2 до +0,3. У зерні сорту Взірець вміст крохмалю зменшився на 0,2%, у сортах Скарлет - на -2%, а у сорту Бадьорий відбулося незначне його збільшення - + 0,4%. Проте на кінець зберігання відхилень за вмістом крохмалю практично не відбулося. Дані зміни показника вмісту крохмалю та їх коливання у процесі зберігання не можуть суттєво вплинути на технологічні пивоварні показники сировини даних сортів.

Зерно пивоварного ячменю повинно мати знижений вміст

білка. Високоякісним є зерно пивоварного ячменю в якому вміст білка знаходиться в межах від 9 до 11% на абсолютно суху речовину. Зерно з підвищеним вмістом білка крім того, що має меншу екстрактивність, погано розрихлюється і сильно нагрівається при солодінні, дає менш стійке і не завжди прозоре пиво. Негативом є також низький вміст білка менше 8%. Така кількість білкових речовин недостатня для нормального розвитку дріжджів, створення піни і створення смаку та «букету» пива. Отримані дані вмісту білка відповідають показнику встановленому стандартом. А саме його значення коливаються від 10,2 до 11,2% залежно від сортових особливостей.

Під час зберігання умови зберігання несуттєво впливали на зміни вихідної якості. Аналізуючи дані щодо вмісту білка можна відмітити, що при зберіганні зерна пивоварного ячменю в регульованих умовах не відбулося погіршення його якості - негативного збільшення чи зменшення вмісту білка. Коливання відносно початкової якості за вмістом білка були на рівні: у зерна сорту Скарлет від - 0,1 до +0,12%, у сортів Бадьорий, Взірець - від - 0,1 до +0,1%. Такі коливання не є суттєвими, а отже можна констатувати той факт що білок у процесі зберігання не змінювався. Вміст білка у зерні ячменю після року зберігання не залежав від умов та тривалості зберігання, а залежав від сортових особливостей.

**Висновки.** За результатами проведеної науково-дослідної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Основні якісні показники зерна ячменю ярого у перші місяці його зберігання при нерегульованому температурному режимі інтенсивно поліпшуються порівняно із зберіганням його при регульованому температурному режимі.

2. Зберігати зерно ячменю ярого з вологістю в межах критичної та з добрими вихідними якісними показниками у сховищах доцільно не більше 9 місяців, при більш довготривалому терміні зберігання таке зерно потрібно зберігати за умов регульованого температурного режиму.

3. Післязбиральне дозрівання зерна пивоварних сортів ячменю ярого більш інтенсивно проходить в нерегульованих умовах. Проте, найкращу збереженість технологічних якостей зерна пивоварних сортів ячменю ярого забезпечує зберігання його в регульованому температурному режимі.



### Список літератури

1. Волощук О.П., Копчик З.М., Свідерко М.С., Шикітка В.Л., Кузько В.Г., Фурсенко О.П. Рекомендації щодо вирощування пивоварного ячменю // Інститут землеробства і тваринництва Західного регіону. - Львів – Оброшино – 2003. – 15 с.

2. Шубенко Н.І. Ярий ячмінь – для пивоварів.// Хімія, агрономія, сервіс.- 2003. - № 39.

3. Гораш О.С. Залежність вмісту білка у пивоварному ячмені від мінодобрив і норм висіву. // Вісн. аграрної науки. – 2006. - № 10. - С. 41-46.

4. Ячмінь. Технічні умови. ДСТУ 3 769-98. - 13 с.

5. Власенко В.А., Губенко І.А., Губенко Н.П., Мельник С.А., Дубіцька Л.І., Домарецький В.А., Борсук Г.Ю. Технологія вирощування пивоварного ячменю (практичні рекомендації) - Миронівка – 2001. -С. 5-15.

### Аннотація

#### **ПИВОВАРНЫЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ**

*Установлено, что показатели качества зерна ячменя ярого в первые месяцы его хранения интенсивно улучшаются по сравнению с хранением его в регулируемом температурном режиме. Послеуборочное дозревание зерна ячменя ярого пивоварных сортов более интенсивно проходит в нерегулируемом температурном режиме. Однако, лучшую сохранность технологических свойств качества зерна ячменя ярого обеспечивает хранение его в регулируемом температурном режиме.*

### Abstract

#### **BREWING PROPERTIES OF BARLEY GRAIN GRAINS WITH DIFFERENT STORAGE CONDITIONS**

*It is established that the quality indices of spring barley grain in the first months of its storage at an unregulated temperature regime intensely improve compared to its storage at a regulated temperature regime. Post-harvest ripening of brewing barley grain of spring barley is more intensively under unregulated conditions. However, the best preservation of the technological qualities of grain brewed barley spring barley provides its storage in a controlled temperature.*

УДК 637.3.07:543.422.25

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОДИ В СИРНІЙ МАСІ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ

Гурський П.В., к.т.н., проф.,

(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)

Перцевой Ф.В., д.т.н., проф., Бідюк Д.О., к.т.н., доц.,

Кондрашина Л.А., аспірант

(Сумський національний аграрний університет)

*Встановлено теденцію зв'язування води білком сиру кисломолочного нежирного під дією цитрату натрію, що сприяє підвищенню буферної ємності білка та створенню сприятливих умов для плавлення сирної маси, доведено вплив концентрації цитрату натрію на зменшення рухливості води в сирній масі, підготовленій до плавлення.*

**Ключові слова:** ядерно-магнітний резонанс, спін-спінова релаксація, «спінова луна», гідратація білка, диполь води, «зв'язана» вода.

### 1. Огляд літературних джерел та постановка задачі.

Спектроскопія ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) - один з найпоширеніших методів дослідження, який застосовується хіміками, та біохіміками для ідентифікації молекулярних структур, а також для вивчення ходу хімічних реакцій. Магнітно-резонансна томографія (МРТ), інший тип ЯМР-технологій, широко використовується в медичній радіології для отримання зображень м'яких тканин для діагностичних цілей у медицині. Вчені, розробники нових технологій харчових продуктів, також дослідили використання ЯМР та МРТ і продовжують розробляти широкий спектр застосувань для аналізу хімічного складу харчових продуктів [1].

Вода є основною складовою частиною більшості продуктів, що зумовлює їх товарознавчо-технологічні характеристики (консистенцію, структуру, соковитість), визначає їх органолептичні показники, а також стійкість під час зберігання [2].

Багато харчових продуктів містить значну масу води. Переважна більшість технологічних процесів пов'язана з внесенням або видаленням води з технологічної системи. Продукти, що мають у своїй молекулярній структурі декілька різних функціональних груп

(амінокислоти, жири, білки) впливають на воду залежно від того, які групи вони містять. До складу високомолекулярних з'єднань харчових продуктів також можуть входити заряджені, гідрофільні і гідрофобні бічні групи, які, взаємодіючи з молекулами води, утворюють гідратні оболонки. Основні біологічні молекули - нуклеїнові кислоти, білки, ліпіди знаходяться в сирній масі в гідратованому стані, тобто оточені досить щільним шаром з молекул води. Біомолекули з водою утворюють єдину систему, яку не можна розділити на компоненти без руйнування її сутності [3, 4].

Вода в харчових продуктах завдяки своїм структурним зв'язкам характеризується різними властивостями, доступністю, що дозволяє принципово розділити її за цими ознаками на вільну та зв'язану. Тому в технології продуктів харчування поряд з такою характеристикою як загальна вологість виділяють не менш важливі показники зв'язаної вологи, вологоутримуючої та вологовиділяючої здатності. Співвідношення вільної та зв'язаної вологи часто є домінуючим показником, що характеризує технологічну, товарознавчу та мікробіальну стабільність продуктів [2, 5].

Зв'язана вода, що міцно утримується різними компонентами харчових продуктів за рахунок хімічного та фізичного зв'язку, завжди існує поблизу розчиненого неводного компонента. Вона має знижену молекулярну рухливість та інші властивості, що притаманні вільній воді (не може бути розчинником, не може в системі перемішуватися самостійно, а тільки разом з макромолекулами за певної швидкості седиментації, в'язкості, дифузії). Вона не замерзає навіть за температури  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  і відрізняється від води вільної за структурою [2]. На жаль, чіткого розділу між цими поняттями не існує, тому що зв'язана вода може мати широкий спектр "зв'язаності" [2, 3, 4, 5]. Так вода в харчових продуктах може знаходитися в порожнинах, порах і капілярах утворених тілом продукту, а також у сорбованому стані на поверхні, гідратна і кристалогідратна вода, а також інші її види.

Молекули води при цьому залишаються досить рухливими, що цілком достатньо для спостереження за ними методом спінової луни ядерного магнітного резонансу.

## **2. Мета та задачі дослідження стану води в сирній масі**

Метою роботи є встановлення взаємодії з цитратом натрію з білком сиру кисломолочного нежирного та її вплив зв'язування води в сирній масі, підготовленій до плавлення.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні

завдання:

- встановити тенденції молекулярної рухливості води в сирній масі, підготовленій до плавлення методом спінової луни ядерного магнітного резонансу;

- дослідження впливу концентрації цитрату натрію на кінетику “зв’язування” води білком в сирній масі;

- підтвердження підвищення водозв’язуючої активності та зростання гідратації білку в наслідок іонного обміну.

### 3. Матеріали і методи дослідження процесу

Для оцінки молекулярної рухливості води з метою встановлення тенденції її зв’язування в наслідок взаємодії цитрату натрію з білком сирної маси, підготовленої до плавлення, в експериментальних дослідженнях було використано один із сучасних методів досліджень стану води в харчових продуктах – імпульсний метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР) на імпульсному спектрометрі ЯМР (рис.1).

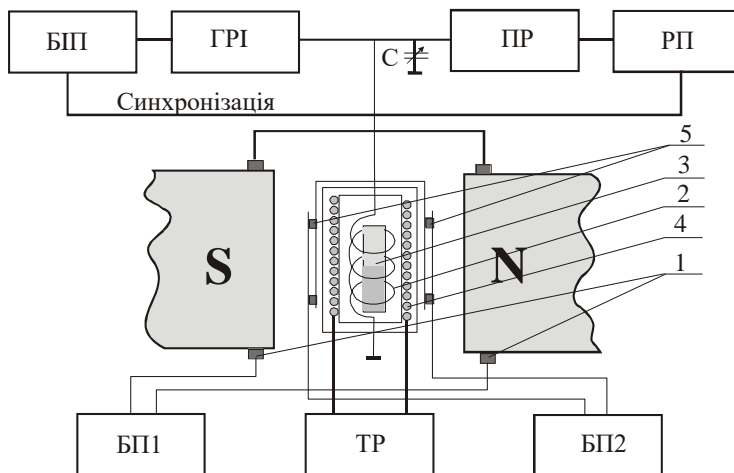


Рис. 1. Блок-схема імпульсного спектрометра спінової луни: 1 – підмагнічуючі котушки; 2 – радіочастотна котушка; 3 – ампула з досліджуваним зразком; 4 – котушка термостата; 5 – градієнтні котушки

При використанні даного методу в досліджуваних зразках за критерій, що характеризує форми зв'язку вологи в сирній масі, брали значення тривалості спин-спінової релаксації  $T_2$ , що є характеристичним часом розфазування магнітних моментів за

рахунок створення локального магнітного поля найближчими сусідами, і визначає ступінь рухливості протонів водню, а значить і загальну молекулярну рухливість води в сирній масі досліджуваних зразків, після їх експозиції протягом 30 хвилин [5]. При цьому зважали на те, що час релаксації ЯМР залежить від хімічного оточення досліджуваних ядер [5, 6, 7] тому на швидкість перерозподілу енергії в спіновій системі будуть впливати спин-спінова взаємодія і молекулярна рухливість води. Таким чином  $T_2$  в експерименті характеризує взаємодію води з білком (енергію зв'язку). Для встановлення кінетики змін швидкості релаксації диполя води на імпульсній установці ЯМР був обраний найбільш універсальний метод спінової луни [8, 9, 10, 11]. Експериментальні дослідження проводились наступним чином. На досліджувану сирну масу, що знаходиться в магнітному полі, через визначені проміжки часу подавали 2 короткочасні електромагнітні імпульси в області резонансного поглинання з затримкою 0,001 с. В наслідок чого в прийомній котушці приладу наводився сигнал спінової луни, максимальна амплітуда якого зв'язана з часом спин-спінової релаксації.

Кожен зразок сирної маси досліджувався при 5-ти різних значеннях  $\tau_i$  (рис.2). Крім того, для зменшення похибки на результат вимірювань в наслідок впливу електромагнітних перешкод-рівня власних шумів, в кожній точці знаходили середнє значення після 10 вимірювань амплітуди. Амплітуда сигналу луни фіксувалася візуально на екрані осцилографа та на екрані мікрокомп'ютера, крім того за допомогою спеціальної комп'ютерної програми вираховувались її значення.

Якщо враховувати тільки релаксаційні процеси, то амплітуда спінової луни після послідовності двох радіочастотних імпульсів буде

$$A = A_0 \exp\left(-\frac{2\tau}{T_2}\right), \quad (1)$$

де  $\tau$ -інтервал між зондуючими імпульсами, с;

$T_2$ -час спин-спінової релаксації, с;

$A_0$ -максимальне значення сигналу спінової луни, яке визначається кількістю резонуючих ядер (кількістю молекул води) і відповідає значенню сигналу луни при  $\tau=0$ .

#### **4. Результати досліджень стану води в сирній масі**

Кількісний вміст вологи в продукті, а також співвідношення

вільної і зв'язаної води відіграють важливу роль у структуроутворенні готового продукту і стабілізації системи закусочних паст [2, 4, 5, 6, 11].

Для визначення змін часу спін-спінової релаксації диполя води від концентрації компонентів модельної системи паст закусочних (рис.2) на усіх стадіях технологічного процесу дослідження проводили за методом «спінової луни» [6,7].

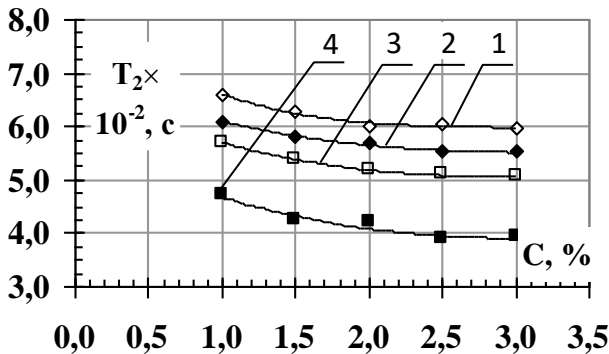


Рис. 2. Залежність часу спін-спінової релаксації диполя води модельної системи паст закусочних від концентрації цитрату натрію до теплової обробки: 1 – без олії, 2 – з олією; після теплової обробки з олією: 3 – без агару, 4 – з агаром

Встановлено, що залежності часу спін-спінової релаксації диполя води ( $T_2$ ) від рецептурних компонентів мають вигляд плавних кривих (рис.2), що характеризують тенденцію зменшення значення  $T_2$  зі збільшенням концентрації цитрату натрію. Кожна крива характеризує вплив тієї чи іншої рецептурної компоненти. Так в результаті внесення олії в рецептурний склад суміші, підготовленої до теплової обробки,  $T_2$  зменшується на  $3 \cdot 10^{-2}$  с. Після теплової обробки паст закусочних  $T_2$  зменшується ще на  $6 \cdot 10^{-2}$  с, а внесення в рецептурний склад агару зменшує час спін-спінової релаксації на  $12 \cdot 10^{-2}$  с. Це пояснюється впливом технологічних факторів на зростання вологостримуючої здатності білка, що призводить до зменшення кількості «вільної» води в пасті закусочній.

З приведених графіків видно, що внесення в рецептуру олії, агару, а також термічна обробка зменшують час спін-спінової релаксації диполя води в пасті закусочній. Збільшення в рецептурі цитрату натрію в межах концентрацій від 1,1% до 2,0% зменшує  $T_2$  на  $5 \cdot 10^{-2}$  с., в межах

концентрацій від 2,0% до 3,0% – лише на  $1 \cdot 10^{-2}$  с.

Після проведених розрахунків отриманих даних кінетики спіно-спінової релаксації диполя води паст досліджено вплив основних компонентів на кінетику зв'язування води білком паст закусочних на різних стадіях її виготовлення (рис.3) в залежності від концентрації солі плавильної.

Встановлено тенденцію зростання кількості зв'язаної води з внесенням олії, що емульгується в суміш моделі паст і суттєве зростання зв'язаної води після внесення агару та теплової обробки.

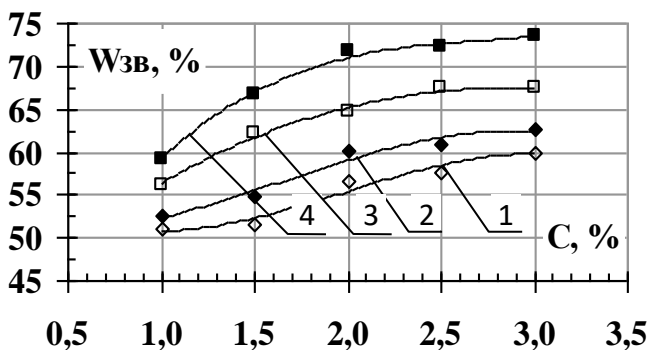


Рис. 3. Залежність масової частки зв'язаної води в модельній системі паст закусочних від концентрації цитрату натрію до теплової обробки: 1 – без олії, 2 – з олією; після теплової обробки з олією: 3 – без агару, 4 – з агаром

Крім того збільшення концентрації цитрату натрію в пасті закусочній також призводить до зростання кількості води, зв'язаної білком. Як видно з характеру кривої (рис. 3), збільшення концентрації цитрату натрію в готовому продукті понад 2,0% суттєво не впливає на кількість «зв'язаної» води (табл. 1).

З аналізу графіків (рис.3) видно, що білок модельної системи паст закусочних з концентрацією цитрату натрію  $2,0 \pm 0,2\%$  перед технологічною обробкою здатний зв'язувати до  $56 \pm 2\%$  вологи, після емульгування соняшникової олії кількість зв'язаної вологи збільшується ще на 3,0%, а після теплової обробки білок модельної системи паст закусочних здатний зв'язувати до  $65 \pm 1\%$  вологи. Після введення в рецептуру агару цей показник збільшується ще на 6% і становить  $71 \pm 1\%$ . У зразка модельної системи паст закусочних за концентрації цитрату натрію  $1 \pm 0,1\%$  кількість зв'язаної води менше

на 12% від зразка за концентрації цитрату натрію  $2\pm 0,1\%$  і становить  $60\pm 2\%$ , а у зразка за концентрації цитрату натрію  $3\pm 0,1\%$  більше лише на 2% від зразка з концентрацією цитрату натрію  $2\pm 0,1\%$  і становить  $73\pm 2\%$ .

Таблиця 1

**Масова частка зв'язаної вологи в модельній системі паст закусочних на різних стадіях технологічного процесу**

Вміст цитрату Na, %	Вміст сиру кисломолочного нежирного, %	Частка зв'язаної вологи білковою основою, %			
		до теплової обробки		після теплової обробки	
		без олії	з олією	без агару	з агаром
0	40	55,15 $\pm$ 0,5	55,15 $\pm$ 0,6	55,15 $\pm$ 0,7	55,15 $\pm$ 0,8
1	40	52,63 $\pm$ 0,5	54,85 $\pm$ 0,5	57,36 $\pm$ 0,5	62,55 $\pm$ 0,5
2	40	60,06 $\pm$ 0,5	62,45 $\pm$ 0,5	64,84 $\pm$ 0,5	71,73 $\pm$ 0,5
3	40	62,31 $\pm$ 0,5	64,23 $\pm$ 0,5	68,04 $\pm$ 0,5	73,54 $\pm$ 0,5

Отже, встановлено, що під час емульгування олії масова частка зв'язаної води білкової основи модельної системи паст за концентрації цитрату натрію  $2,0\pm 0,1\%$ , зростає на  $4,8\pm 0,1\%$ , проведення теплової обробки за температури  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$  сприяє збільшенню зв'язаної води в модельній системі паст закусочних на  $5,2\pm 0,1\%$ , а введення в рецептуру агару в якості структуроутворювача збільшує масову частку зв'язаної води ще на  $6,8\pm 0,1\%$ .

**6. Висновки.**

1. Експериментально було доведено, що залежність  $T_2$  від концентрації цитрату натрію в інтервалі  $1...3,5\%$  має вигляд плавної кривої (рис.4), яка інтенсивно убуває в інтервалі концентрації цитрату натрію  $0...2\%$  і характеризує тенденцію зменшення значення  $T_2$  зі збільшенням концентрації цитрату натрію в сирній масі. Це пояснюється зростанням гідrataції білку та підвищення його водозв'язуючої активності в наслідок іонного обміну, що призводить до зменшення кількості “вільної” води в сирній масі.

2. Встановлено, що концентрація цитрату натрію  $2\%$  є найбільш раціональною і подальше її збільшення в сирній масі суттєво не вплине на кількість води зв'язаної білком.

**Список літератури**

1. Блягоз А.И. Применение метода ядерного магнитного



резонанса для исследования химического состава веществ / А.И.Блягоз // Майкоп. Ж-л Новые технологии. 2019. С.11-16.

2. Пивоваров П. П., Прасол Д. Ю. Теоретичні основи технології харчових виробництв. Навч. Посібник. Частина IV. Вода та її значення у формуванні фізико-хімічних, органолептичних показників сировини та продуктів харчування / Харків-ський держуніверситет харчування та торгівлі - Харків, 2003 - 48 с.

3. Вода в пищевых продуктах. Под ред. Р.Б. Дакуорта. Пер. с англ. М.: Пищевая промышленность, 1980. 376 с.

4. Цуканов М.Ф., Черноморец А.Б. Технологические аспекты показателя «активность воды» и его роль в обеспечении качества продукции общественного питания. (СПбГЭУ) Ж-л Техно-технологические проблемы сервиса №1 (11) 2010 С.58-63

5. Гончарук В.В. Физико-химические свойства и биологическая активность воды, обедненной по тяжелым изотопам / В.В. Гончарук, В.Б. Лапшин, Т.Н. Бурдейная и др // Химия и технология воды. 2011. Т. 33. № 1. С. 15 – 25.

6. Пат. 45798 А Україна, МКП G 01 N 24/00. Спосіб визначення кількості вологи у харчових продуктах /Торяник О.І., Дьяков О.Г. (Україна).- №2001074759; Заявл. 09.07.01; Оpubл. 15.04.02; Бюл. № 4.

7. Дьяков А.Г., Даниленко А.Ф. Система управления спектрометром ЯМР.// Сборник научных трудов НТУ ХПИ «Информатика и моделирование» 26'2003 с.119–123.

8. M. F. Marcone; S. Wang; W. Albabish; Sh. Nie; D.Somnarain; Art Hill (2013) Diverse food-based applications of nuclear magnetic resonance (NMR) technology Food Research International, Vol. 51, Issue 2, P.729-747 DOI:10.1016/j.foodres.2012.12.046.

9. L. Laghi; G. Picone; F.Capozzi (2014) Nuclear magnetic resonance for foodomics beyond food analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry Vol. 59, Pages 93-102 DOI:10.1016/j.trac.2014.04.009

10. J. Li, Th. Vosegaard, Zh. Guo (2017) Applications of nuclear magnetic resonance in lipid analyses: An emerging powerful tool for lipidomics studies Progress in Lipid Research, Vol. 68. Pages 37-56. DOI:10.1016/j.plipres.2017.09.003

11. Гончарук В.В. Влияние температуры на степень структурирования воды различного изотопного состава / В.В. Гончарук, И.Ю. Романюкина, М. Д. Скильская, А.И. Маринин, А.В. Сыроешкин, С.А. Доленко //2017. – Т. 39, № 4. – С. 335 – 344.

## **Аннотация**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДЫ В СЫРНОЙ МАССЕ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

*Установлено тенденцию связывание воды белком творога нежирного под действием цитрата натрия, способствует повышению буферной емкости белка и созданию благоприятных условий для плавления сырной массы, доказано влияние концентрации цитрата натрия на уменьшение подвижности воды в сырной массе, подготовленной к плавлению.*

**Ключевые слова:** *ядерно-магнитный резонанс, спин-спиновая релаксация, «спиновое эхо», гидратация белка, диполь воды, «связанная» вода.*

## **Abstract**

### **RESEARCH OF THE STATE OF WATER IN CHEESE NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE METHOD**

*The tendency of the binding of water to the fat-free milk cheese under the influence of sodium citrate is established, which contributes to the increase of the buffer capacity of the protein and the creation of favorable conditions for the melting of the cheese mass, the influence of the concentration of sodium citrate on the decrease in the mobility of water in the cheese mass is proved.*

**Keywords:** *nuclear magnetic resonance, spin – spin relaxation, spin spin, protein hydration, water dipole, coupled water.*

**УДК 664.696.1**

### **РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ПШЕНИЧНИХ ЗЕРНОВИХ ПЛАСТИВЦІВ ПІДВИЩЕНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ**

**Фоміна І.М., к.т.н., доц., Ізмайлова О.О., к.т.н., ас.,**

**Маліков К.С., студент, Плечко В.А., студентка**

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)*

*Досліджено можливість використання фруктових і овочевих соків в технології пшеничних зернових пластівців підвищеної біологічної цінності на базі пластівців з зерна, пророщеного в середовищі біопрепарату «Байкал ЕМ», що містить молочнокислі бактерії. Використання таких технологій дозволяє розширити*

*асортимент зернових пластівців і отримати пшеничні зернові пластівці підвищеної біологічної цінності, які містять збільшену кількість вітамінів.*

Здоров'я і імунітет людини прямо залежать від якості та збалансованості їжі, що надходить в організм. Недостатнє надходження вітамінів, мінеральних речовин, білків і вуглеводів призводить до зниження імунітету і погіршення здоров'я людей. Вирішувати цю проблему потрібно за допомогою розробок нових видів продуктів, збалансованих за своїм складом і легкодоступних всім категоріям населення. Таким продуктом можна вважати цільнозернові пластівці, адже це продукт зернопереробки, який володіє високими споживчими перевагами, що грає важливу роль в забезпеченні населення якісним продуктом харчування.

Останнім часом все більшої популярності набуває виробництво багатокомпонентних сумішей пластівців, так як за рахунок поєднання різних видів зернових культур можна поліпшити амінокислотний склад та оптимізувати вітамінний комплекс, тим самим підвищити їх біологічну та харчову цінність [1,2]. Але, ймовірно, такий спосіб підвищення біологічної та харчової цінності пластівців призведе до здороження собівартості кінцевого продукту. Тому актуальним є розширення асортименту однокомпонентних зернових продуктів на основі пшеничних пластівців за рахунок поліпшення їхньої якості.

Пшениця є найважливішою культурою, яка вирощується на території України. За даними інформаційно-аналітичного порталу агропромислового комплексу України валовий збір пшениці в 2019 році складає 28,1 млн тон, що перевищив показник 2018 року на 3,5 млн. тонн [3]. Відомо, що пшениця є джерелом вітамінів і корисних речовин. Сьогодні, популярною є технологія виробництва пластівців з цільного пророщеного зерна, адже вони володіють збільшеним вмістом вітамінів за рахунок біологічної активації ферментативного комплексу зерна [4].

Цікавим до визначення є пошук нових способів поліпшення якості зернових пластівців з пророщеної пшениці. Встановлено, що одним із найбільш використовуваних таких способів є застосування добавок рослинного походження (фрукти, овочі, фітозбори, сухофрукти) [5]. Під час пророщування відбувається поглинання вологи зернівкою, відповідно, характерним для цього процесу є поглинання корисних речовин, які містяться у розчині для пророщування, що призводить до активації ферментативного комплексу зерна. Попередніми дослідженнями було визначено, що

використання водного розчину біопрепарату, який містить в своєму складі комплекс молочнокислих бактерій є ефективним способом підвищення біологічної цінності зернових пшеничних пластівців [4]. Крім того відомі способи урізноманітнення асортименту пластівців за рахунок додавання сублімованих шматочків фруктів, що призводить до покращення біологічної цінності готового багатокомпонентного продукту [1,5].

Тому, було прийнято рішення, подальшого підвищення біологічної активності пшеничних зернових пластівців з пророщеного зерна шляхом додавання фруктових та овочевих соків з метою отримання однокомпонентного виробу.

**Мета досліджень.** Мета дослідження полягає у науковому та практичному обґрунтуванні доцільності розширення асортименту пшеничних пластівців підвищеної біологічної цінності з пророщеного в середовищі біопрепарату «Байкал ЕМ» зерна за рахунок додавання вітамінів, макро та мікроелементів які містяться у соках з фруктів та овочів.

**Об'єкти та методи досліджень.** Об'єктом дослідження були пшеничні пластівці, виготовлені з пророщеного зерна за технологією Еко-Скарб [4]. Загальний вміст вітаміну С встановлено методом титрування, який оснований на кількісному окисненні аскорбінової кислоти розчином 2,6-діхлорфеноліндофенолята натрію [6]. Вітаміни В<sub>1</sub> та В<sub>2</sub> визначали методом високоефективної рідинної хроматографії [7]. Масову частку сирої золи визначали згідно з ISO 5984:2004 [8]. Визначення вмісту сирої клітковини проводили методом проміжного фільтрування [9]. Визначення вмісту масової частки білка проведено методом К'ельдаля згідно з ISO 5983:2003 [10]. Масову частку сирого жиру визначено згідно з ISO 6492:2003 [11]. Масову частку вуглеводів було визначено шляхом дослідження кількості безазотистих екстрактних речовин (БЕР) [12]. Інші показники було визначено розрахунковими методом.

**Основні матеріали досліджень.** Технологія пшеничних зернових пластівців підвищеної біологічної цінності Еко-Скарб передбачає підготовку зерна, його пророщення в середовищі біопрепарату «Байкал ЕМ» з метою отримання природньо збільшеного вмісту вітамінів.[4]. Для досягнення прогнозованої біологічної цінності пшеничних зернових пластівців занурюємо вже пророщене зерно в фруктовий або овочевий сік. Витримування пророщеного зерна додатково в соку з фруктів або овочів надає змогу зв'язати частину соку пористою структурою зернівки. Таким чином до плющення надходить зерно насичене певним фруктовим або овочевим соком, що додає нові харчові речовини до хімічного

складу пшеничних пластівців.

Спочатку було визначено вміст основних поживних речовин у пшеничних зернових пластівцях, а саме вміст білку, жиру, вуглеводів, клітковини та золи (рис. 1). За умови повного засвоєння продуктів харчування організмом людини в процесі травлення, з них вивільнюється енергія. Цей процес характеризує енергетичну цінність продуктів, або їх калорійність.

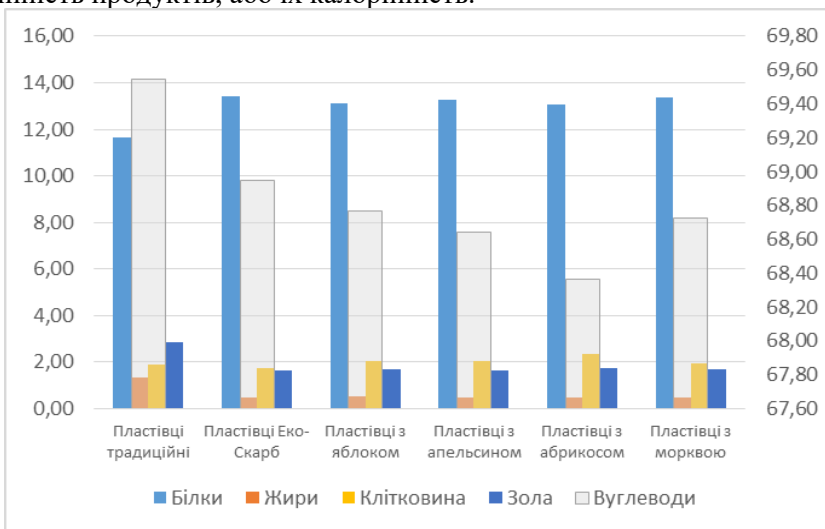


Рис. 1. Вміст основних поживних речовин в г на 100г продукту  
Вміст білку, жиру, клітковини та золи відкладено по лівій осі, а вміст вуглеводів – по правій

Енергетична цінність усіх дослідних зразків пластівців суттєво не відрізняється, але спостерігається незначне зниження енергетичної цінності у зразку пшеничних зернових пластівців з додаванням фруктових чи овочевих соків. Так, енергетична цінність зернових пластівців, виготовлених за традиційною технологією становить  $336 \pm 1$  ккал/100 г продукту, пластівців «Еко-Скарб» -  $333 \pm 1$  ккал/100 г продукту, а енергетична цінність пластівців з соками є найменшою -  $332 \pm 1$  ккал/100 г продукту.

Вміст основних поживних речовин в дослідних зразках істотно не змінюється, але спостерігається незначне зменшення вмісту вуглеводів, золи та жиру в зразках з додаванням соку та незначне збільшення вмісту білку.

На відміну від вмісту основних поживних речовин, вміст вітамінів значно змінюється (табл.1, рис.2). З'являється вітамін А в пластівцях з яблуком, та значно зростає його кількість в пластівцях з

абрикосом і особливо з морквою. Подібна залежність спостерігається і з вмістом бета каротину, його вміст в пластівцях з яблуком та апельсином складає 0,01 мг на 100г продукту, а в пластівцях з абрикосом та морквою 0,51 мг на 100г продукту та 1,07 мг на 100г продукту відповідно. Токоферол також з'являється в пшеничних пластівцях з додаванням фруктових та овочевих соків.

Таблиця 1

**Вміст вітамінів в пшеничних зернових пластівцях на 100г продукту**

Речовина	Од виміру	Пластівці традиційні	Пластівці Еко-Скарб	Пластівці зяблуком	Пластівці з апельсином	Пластівці з абрикосом	Пластівці з морквою
Вітамін А	мг			0,001	0,00	0,09	0,18
Бета каротин	мг			0,01	0,01	0,51	1,07
Вітамін В1, тіамін	мг	0,06	1,19	1,16	1,17	1,14	1,18
Вітамін В2, рибофлавін	мг	0,09	0,37	0,36	0,37	0,37	0,37
Вітамін С, аскорбінова кислота	мг	2,30	4,84	6,66	12,96	7,81	5,23
Вітамін Е, альфа токоферол	мг			0,04	0,03	0,35	0,04

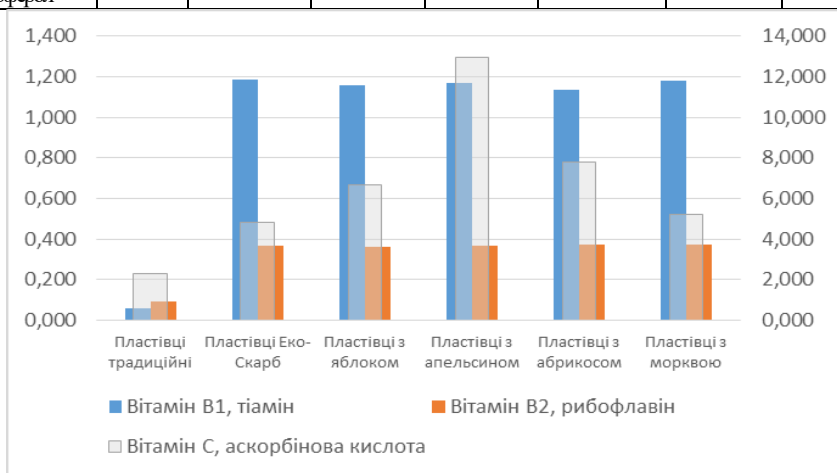


Рис. 2. Вміст вітамінів в пшеничних пластівцях в мг на 100г продукту

Вміст вітамінів В1 та В2 відкладено по лівій осі, а вміст вітаміну С – по правій

Вміст вітамінів В<sub>1</sub> та В<sub>2</sub> залишається на рівні пластівців з пророщеного зерна (Еко-Скарб). А вміст вітаміну С залежить від виду соку, який додано до технології. Так вміст вітаміну С в пластівцях Еко-Скарб перевищено на 9±1% в пластівцях з морквою, на 37±1% в пластівцях з яблуком, на 61±1% в пластівцях з абрикосом та майже в 1,7 рази в пластівцях з апельсином.

Відповідно до законодавчо затверджених норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії [13] виконано розрахунок забезпечення добової норми у основних поживних речовинах та вітамінах за умов споживання 100г пластівців що розглядаються (рис.3). Споживання зазначеної кількості пластівців Еко-Скарб та пластівців з соками забезпечить 12...16±1% добового раціону по енергетичній цінності, 16...20±1% по білку та 18...21±1% по вуглеводам. Вміст мінеральних сполук у цільній зерновій сировині з непорушеними плодовими та насінневими оболонками, алейроновим шаром значно вищий, порівняно із зерном, яке традиційно застосовується для виготовлення пластівців.

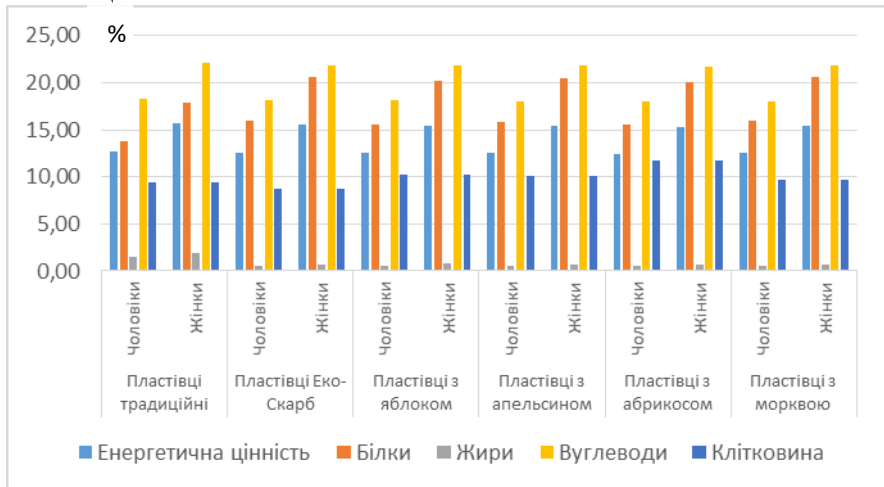


Рис. 3. Харчова й енергетична цінність пластівців, забезпечення добової потреби

Вітаміни та мінеральні речовини є необхідними для нормального функціонування і зростання організму людини, запобігання інфекцій, синтезу білків і жирів для людини. Відсутність тих чи інших вітамінів чи мінеральних речовин може призвести до

різних захворювань. Тому, було досліджено можливість забезпечення вітамінами А, С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> та бета каротином добової потреби людини, яку визначали шляхом встановлення відсотка заповнення ними необхідної кількості за умов вживання 100 г готової каші з зернових пластівців. (рис.4).

Результати показали, що від вживання 100 г всіх дослідних пластівців найбільше заповнюється вміст вітаміну В<sub>1</sub> для чоловіків в середньому на 73±1 %, для жінок – на 90±1 %, у порівнянні з пластівцями, виготовленими за традиційною технологією, де вміст вітаміну В<sub>1</sub> заповнюється для чоловіків та жінок на 3±1 % та 4±1 % відповідно. Заповнення добової потреби у інших вітамінах від вживання дослідних пластівців для чоловіків складає до 18±1 %, для жінок – до 23±1 %.

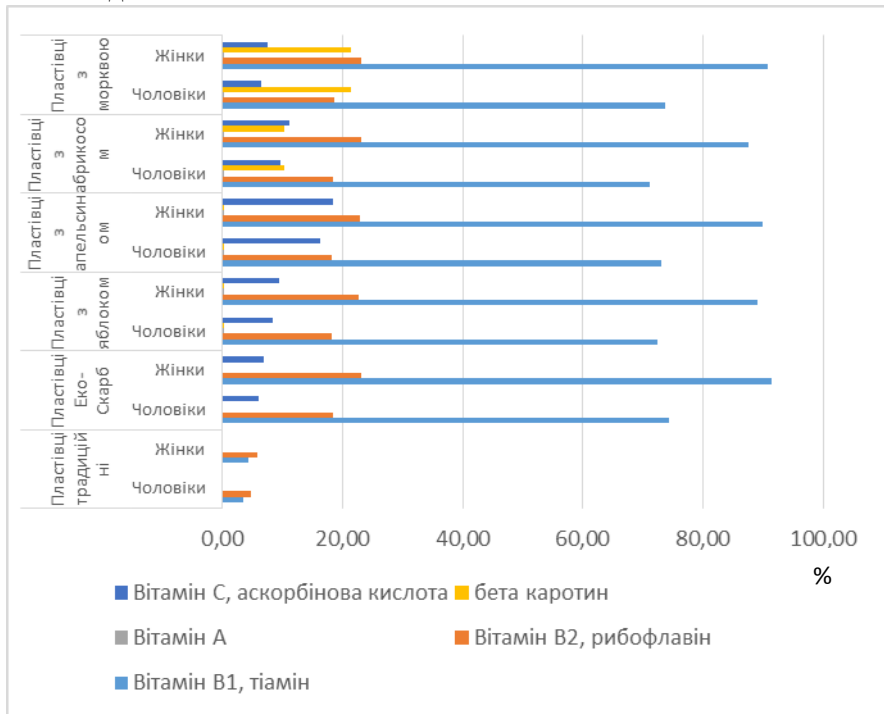


Рис. 4. Забезпечення добової потреби у вітамінах при споживанні 100 г пластівців

**Висновки.** Отже, наведені результати мають практичне значення, оскільки дають змогу розширити асортимент зернових



пластівців та отримати пшеничні зернові пластівці підвищеної біологічної цінності, які мають збільшений вміст вітамінів.

### Список літератури

1. Жигунов Д. О., Мардар М. Р., Волошенко О. С., Брославцева І. В., Статєва М. С., Колесніченко І. М., Розширення асортименту багатокомпонентних сумішей на основі зернових пластівців// Наукові праці. – Вип. 48. – С. 8-13.

2. Бажай-Жежерун С.А., Береза-Кіндзерська Л.В., Тагачинська О.В. Пластівці підвищеної харчової цінності на основі біологічноактивованого зерна// Технологія харчової та легкої промисловості. - Том 29 (68) Ч. 3 № 1. – 2018. – С. 19-24.

3. Урожай-2019: В Україні вже перевищено минулорічний збір зернових. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/ua/news/urozhaj-2019-v-ukrayini-vzhe-perevishcheno-minulorichnij-zbir-zernovih>.

4. Фоміна І.М., Ізмайлова О.О. Технологія пшеничних зернових пластівців підвищеної біологічної цінності для здорового харчування : монографія / – Харків : Видавництво «ПромАрт», 2019. – 168 с.

5. Жигунов Д. О., Мардар М. Р., Волошенко О. С., Брославцева І. В., Зерновий сніданок на основі вівсяних пластівців// Хранение и переработка зерна. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://hipzmag.com/tehnologii/pererabotka/zernovij-snidanok-na-osnovi-vivsyanih-plastivtsiv/>.

6. Микронутриенты в питании здорового и больного человека: [справочное руководство по витаминам и минеральным веществам] / В.А. Тутельян, В.Б. Спиричев, Б.П. Суханов, В.А. Кудашева. – М.: Колос, 2002. – 423 с.

7. Документация. Премиксы. Методы определения витаминов группы В: ГОСТ 50929-96 – [введ. от 29-07-1996] - М. : 1996. – 39 с. (Межгосударственный стандарт).

8. Документация. Корма для животных. Определение содержания неочищенной золы: ДСТУ ISO 5984:2004.

9. Документация. Корми для тварин. Визначення вмісту сирії

клітковини методом проміжного фільтрування: ДСТУ ISO 6865:2004.

10. Документація. Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і обчислення вмісту сирого білка методом К'ельдаля: ДСТУ ISO 5983:2003.

11. Документація. Корма для животних. Определение содержания жира: ДСТУ ISO 6492:2003.

12. Довідник: Фізіолого-біохімічні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині / В.В. Влізло, Р.С. Федорук, І.А. Макар та ін. — Львів, 2004. — 399 с.

13. Про затвердження норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 2017№ 1206/31074.

## **Аннотація**

### **РАСШИРЕНИЕ АСОРТИМЕНТА ПШЕНИЧНЫХ ЗЕРНОВЫХ ХЛОПЬЯ ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ**

*Исследована возможность использования фруктовых и овощных соков в технологии пшеничных зерновых хлопьев повышенной биологической ценности на базе хлопьев из зерна, пророщенного в среде биопрепарата «Байкал ЕМ», содержащей молочнокислые бактерии. Использование таких технологий позволяет расширить ассортимент зерновых хлопьев и получить пшеничные зерновые хлопья повышенной биологической ценности, которые содержат увеличенное количество витаминов.*

## **Abstract**

### **EXPANSION OF THE WHEAT GRAIN FLAKE ASHORITEMENT OF THE IMPROVED BIOLOGICAL VALUE**

*The possibility of using fruit and vegetable juices in the technology of wheat cereal flakes of high biological value based on cereal flakes germinated in the environment of the biological product "Baikal EM" containing lactic acid bacteria is investigated. The use of such technologies allows us to expand the range of cereal flakes and obtain wheat cereal flakes of high biological value, which contain an increased amount of vitamins.*

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА М'ЯКИХ СИРІВ З ВІДНОВЛЕНОГО МОЛОКА

Машкін М.І., к. с.-г. н., проф.,

(Сумський національний аграрний університет)

Денисенко С.А., к.т.н., доцент, Токолов Ю.І., ст. викладач

(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенко)

*У роботі розглянуто питання, пов'язані з виробництвом м'яких сирів з відновленого незбираного молока. Наведені його основні переваги й недоліки, а також описується технологія, що розроблена спеціально для виробництва м'якого сиру з відновленого незбираного молока, що враховує його основні особливості.*

**Ключові слова:** відновлене молоко, сичужний фермент, м'який сир,

**Постановка проблеми:** Багато підприємств по виробництву сирів зазнають певних труднощів у зв'язку з недостатньою кількістю молочної сировини. Особливо гостро ця проблема стає в зимовий період, коли багато підприємств змушено скорочувати обсяги виробництва через зменшення поставок натурального молока-сировини.

Одним зі шляхів вирішення даної проблеми є розробка способів виробництва сирів із частковою або повною заміною незбираного молока відновленим, що дозволить забезпечити регіони з нерозвиненим молочним скотарством сирами власного виробництва.

У процесі сушіння відбуваються фізико-хімічні зміни натурального молока. Великий вплив на складові частини молока впливає пастеризація молока перед сушінням за температури порядку +95°C. При цьому відбувається утворення комплексів між казеїном і сироватковими білками, а також між  $\beta$ -лактоглобуліном та  $\alpha$ -лактоальбуміном. Якщо в технологічному процесі пастеризацію проводять після гомогенізації, відбувається адсорбція казеїну і сироваткових білків на поверхні жирових кульок. Це приводить до того, що при укрупненні міцел казеїну і утворення згустку жир виявляється вбудованим у структуру білка, на відміну від натурального молока, де він перебуває у вигляді вільних жирових

кульок. Дані структурні зміни стану жиру й білка в сухому молоці можна використовувати, якщо з відновленого молока виробляти м'які та розсолні сири [4]. Справа в тому, що при виробництві сирів з натурального молока, іноді спостерігаються більші втрати молочного жиру. Взаємодія жиру з білком, що виникає при пастеризації, згущенні й наступному сушінні молока, перешкоджає його відходу в сироватку при виробництві сиру. Збільшенню виходу готового продукту також сприяють зв'язки між казеїном і сироватковими білками [3].

До негативних сторін подібної взаємодії необхідно віднести зниження щільності й пружності сичужного згустку, а також уповільнення виділення сироватки зі згустку за рахунок більшої влагутримуючої здатності сироваткових білків, які осіли на поверхні казеїну і перешкоджають роботі сичужного ферменту по відділенню від казеїну глікомакропептида [1].

**Мета роботи:** Розробка технології м'яких сирів термокислотним і сичужно-кислотним способами з використанням відновленого незбираного молока при різних режимах термокоагуляції згустку.

Для досягнення цілі брали сухе незбиране молоко, яке підлягало відновленню згідно нормативних умов. Масу сухого молока 25%-ної жирності розраховували за формулою:

$$M_{с.м.} = \frac{1000 \cdot H \cdot Ж_{м.}}{P \cdot Ж_{с.м.}}$$

Масу води (літр на 1т відновленого молока), необхідної для розчинення сухого молока визначали за формулою:

$$B = \frac{H - (M_{с.м.} \cdot P)}{100},$$

де  $H$  - норма витрат сировини на 1 тону молока, кг;

$Ж_{м.}$  - масова частка жиру відновленого молока, ( $Ж_{м.}=3,2\%$ );

$P$  - фактична розчинність сухого незбираного молока у воді, % ( $P=100\%$ );

$Ж_{с.м.}$  - фактична масова частка жиру у сухому незбираному молоці, % ( $Ж_{с.м.}=25\%$ ).

Тобто, на 1т відновленого молока необхідно сухого незбираного молока 128 кг, води питної - 872кг.

Розчинення сухого молока у воді і отримання відновленого

проводили в апаратах, які забезпечували отримання пастеризованого молока, відповідного стандарту. Сухе молоко розчиняли у воді за температури  $+40^{\circ}\text{C}$  при постійному перемішуванні. Відновлене молоко очищали за допомогою металевих сит і фільтрів від нерозчинних грудочок і охолоджували за температури  $+4\dots+6^{\circ}\text{C}$ .

За цієї температури продукт витримували на протязі 3...4 годин з метою набухання білків, усунення водянистого привкусу і досягнення необхідної густини.

З отриманого відновленого молока готували м'який сир термокислотним і сичужно-кислотним способом.

Проблеми, що виникають при виробництві м'яких сичужних сирів з відновленого молока, змушують припустити, що для витягу максимальної користі зі змін, що відбуваються при сушінні молока, необхідно віддати перевагу сирам, виробленим способом термокислотної коагуляції. Досліди показали, що поряд з очевидними перевагами цей спосіб має й недоліки. Головним з них є крошлива консистенція готового продукту. Очевидно, це відбувається через різницю термостійкості казеїну й сироваткових білків. Останні були денатуровані ще при виробництві сухого молока. Термостійкість казеїну навпаки підвищувалась після того, як він знайшов оболонку із сироваткових білків. Тому при нагріванні відновленого молока до  $+95^{\circ}\text{C}$  (уже повторному) може відбуватися пересушування згустку, з нього виділяється занадто багато вологи і готовий продукт має суху крошливу консистенцію з незамкнутою поверхню [3].

**Основні результати дослідження.** Виходячи з вищевикладеного, необхідно нівелювати відмінності в термостійкості казеїну й сироваткових білків. При виробництві сирів кисло-сичужним способом сироваткові білки залишаються в сироватці, а казеїн коагулює під дією сичужного ферменту й молочної або іншої кислоти, тобто впливу високої температури на казеїн не відбувається. Сичужний фермент відщеплює від казеїну глікомакропептид, підвищуючи тим самим його ізоелектричної крапку з 4,6 до 5,4 од. рН. Це знижує термостійкість казеїну що дає змогу коагулювати при більш низькій температурі при підкисленні молока до ізоелектричної крапки параказеїна.

Основні переваги й недоліки способів виробництва м'яких сирів з відновленого молока різними способами наведено в таблиці 1.

**Порівняльний аналіз способів виробництва м'яких сирів з  
відновленого молока**

Термокислотний спосіб		Сичужно-кислотний спосіб	
Переваги	Недоліки	Переваги	Недоліки
Високий вихід готового продукту, простота й висока швидкість виробництва	Крихка суха консистенція, незамкнута поверхня	Зв'язна однорідна консистенція готового продукту, чистий смак і запах	Слабкий згусток і невиражений синерезис. Менш високий вихід готового продукту в порівнянні з термокислотними сирами, більш тривалий час виробництва

Аналіз таблиці показує, що недоліки, які спостерігаються в готовому продукті, виробленому способом термокислотної коагуляції, можуть бути успішно вирішені при виробництві м'якого сиру сичужно-кислотним способом. Однак, цей сир втрачає і переваги, які мають місце при виробництві сиру термокислотним способом.

Враховуючи вищевикладену інформацію, нами розробляється технологія м'якого сиру, що поєднує в собі переваги як термокислотного сиру, так і сиру, виробленого сичужно-кислотним способом.

Розроблювальний сир буде мати однорідну зв'язну консистенцію, чистий смак без сторонніх присмаків і запахів та високий вихід готового продукту.

Проведені експерименти показали, що при додаванні сичужного ферменту й зниженні температури нагрівання відновленого молока до ( $+75 \pm 2$  °C) вихід готового продукту не зменшується. За термокоагуляцією на рівні  $+75$ °C вихід сирної маси навіть трохи більше, чим при  $+95$  і  $+85$ °C. Це можна пояснити тим, що влагуотримуючая здатність сироваткових білків відновленого молока знижується при збільшенні температури нагрівання до  $+95$ °C. Через це в сирі, виготовленому термокислотним способом без додавання сичужного ферменту, може формуватися суха крихка консистенція.

При проведенні експериментів також була визначена доза сичужного ферменту, при внесенні якої відбувається відщиплення

глікомакропептида, але молоко згортається тільки в присутності кислоти за температурую понад +75°C.

**Висновки.** Таким чином, об'єднання елементів двох різних способів виробництва м'якого сиру дозволяє одержати готовий продукт із необхідними фізико-хімічними й органолептичними показниками, а саме однорідною зв'язною консистенцією, чистим смаком і високим виходом продукту.

### **Список літератури**

1. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 804 с.

2. Маньковський А.Я. Технологія переробки молока. Навчальний посібник для вищих аграрних навчальних закладів / А.Я. Маньковський, Р.Й. Кравців, Г.О. Богданов / Сполум, Львів, 2003. – 451 с.

3. Машкін М.І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів / М.І. Машкін, Н.М. Париш / Навчальне видання: – К.: Вища освіта, 2006. – 351 с.

4. Чагаровський О.П. Хімія молочної сировини: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів./ О.П. Чагаровський, Н.А. Ткаченко, Т.А. Лисогор.– Одеса: «Сімекс-принт», 2013.–268 с.

### **Аннотація**

#### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКИХ СЫРОВ ИЗ ВОССТАНОВЛЕННОГО МОЛОКА**

*В работе рассмотрены вопросы, связанные с производством сыра из восстановленного цельного молока. Приведены его основные преимущества и недостатки, а также описывается технология, разрабатываемая специально для производства мягкого сыра з восстановленного цельного молока, учитывающая его основные особенности.*

### **Abstract**

#### **ANALYSIS OF METHODS FOR PRODUCING SOFT CHEESES FROM RESTORED MILK**

*The paper considers issues related to the production of cheese from reconstituted whole milk. Its main advantages and disadvantages are given and the technology developed specifically for the production of soft cheese with reconstituted whole milk, taking into account its main features, is described.*

УДК 66.081.63:637.134

## **ВИЗНАЧЕННЯ БАРИЧНИХ РЕЖИМІВ ОТРИМАННЯ УЛЬРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ КОНЦЕНТРАТІВ БІЛКОВО- ВУГЛЕВОДНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ**

**Дейниченко Г.В., д.т.н., проф., Золотухіна І.В., к.т.н., доц.,**  
*(Харківський державний університет харчування та торгівлі)*

**Кравченко Т.В., к.п.н., доц.**

*(Уманський державний педагогічний університет  
імені Павла Тичини)*

*У статті досліджували технологічні параметри отримання ультрафільтраційних концентратів білково-вуглеводної молочної сировини, зокрема визначено залежність продуктивності УФ-мембран від тиску мембранної обробки та вплив робочого тиску фільтрації на швидкість виходу пермеата знежиреного молока, сколотин та молочної сироватки в тупиковому режимі.*

**Постановка задачі:** В даний час в харчовій промисловості мембранні методи застосовують для очищення і концентрування фруктових і овочевих соків в консервному виробництві, дифузійного соку в цукровому виробництві, для концентрування молока і молочних продуктів, стабілізації безалкогольних напоїв і виноградних вин, холодної пастеризації пива, для підготовки технологічної води, очищення рослинних олій, отримання білка з картопляного соку, розділення крові забійних тварин, виділення ферментів, очищення промислових стоків, поділу газів тощо [1-6].

З усіх баромембранних процесів для обробки білково-вуглеводного молочної сировини (БВМС) найбільшою мірою підходить ультрафільтрація (УФ). Процесу УФ притаманні такі переваги, як висока економічність, низька енергоємність, відсутність фазових перетворень білка [7]. На відміну від зворотного осмосу і нанофільтрації процес УФ протікає при набагато більш низькому тиску і в той же час забезпечує набагато більш високу селективність, ніж мікрофільтрація [8]. Одночасно з концентрацією харчових розчинів УФ здійснює їх очищення від низькомолекулярних речовин, бактерій, зберігаючи постійне значення рН. Все вищевикладене



зумовило використання процесу ультрафільтрації при переробці БВМС, з метою використання УФ-концентратів у виробництві десертної продукції.

Продукти УФ-переробки знежиреного молока, сколотин і молочної сироватки мають чітко визначений набір функціональних властивостей, мають широкий спектр промислового застосування.

Оскільки кожен із зазначених видів БВМС отримують за різними технологічними схемами, спочатку вони відрізняються один від одного складом, властивостями, тому можна прогнозувати, що і процес ультрафільтрації кожного виду сировини матиме свої особливості.

**Мета досліджень:** визначення впливу робочого тиску на процес ультрафільтрації білково-вуглеводного молочної сировини.

**Основні матеріали досліджень:** З метою дослідження основних закономірностей УФ-концентрування БВМС за допомогою мембран типу ПАН і впливу на нього додаткових інтенсифікуючих факторів дослідження проводили в кілька етапів.

При визначенні залежності швидкості ультрафільтрації від робочого тиску концентрат, що утворюється, повертали назад в емність для вихідного продукту [9].

Потрібний тиск в надмембранному просторі ультрафільтраційного модуля створювали за допомогою компресора і вимірювали в межах від 0,2 МПа до 0,5 МПа. Створення необхідних гідродинамічних умов потоку БВМС в міжмембранному каналі в режимі барботування здійснювали наступним чином.

Включали перистальтичний насос, з'єднаний через гнучкий патрубок з барботуючим пристроєм. Насос подавав стиснене повітря під тиском, що перевищує величину тиску в УФ-модулі, від зовнішнього джерела до дроселюючого сопла, яке рівномірно впорскує стиснене повітря перед гумовою дрібноперфорованою мембраною барботуючого пристрою. Навіть стиснене повітря продавлювалося крізь пори гумової дрібноперфорованої мембрани і надходило у БВМС, що розділяється, у вигляді дрібних бульбашок, які турбулізували її і створювали необхідні гідродинамічні умови над поверхнею напівпроникної УФ-мембрани. Шляхом регулювання продуктивності перистальтичного насоса змінювали частоту пульсуючої подачі стисненого повітря в УФ-модуль. За допомогою

додаткового компресора змінювали тиск подачі стисненого повітря в УФ-модуль в заданих межах.

Залежність продуктивності УФ-мембран ПАН-50 і ПАН-100 в тупиковому режимі від тиску мембранної обробки БВМС при температурі 20 °С приведена на рис. 1. З даних рисунка витікає, що характер змін продуктивності з підвищенням тиску фільтрації ідентичний для обох досліджуваних мембран. При значеннях тиску від 0,2 до 0,35 МПа відбувається інтенсивне збільшення продуктивності мембран для всіх видів БВМС.

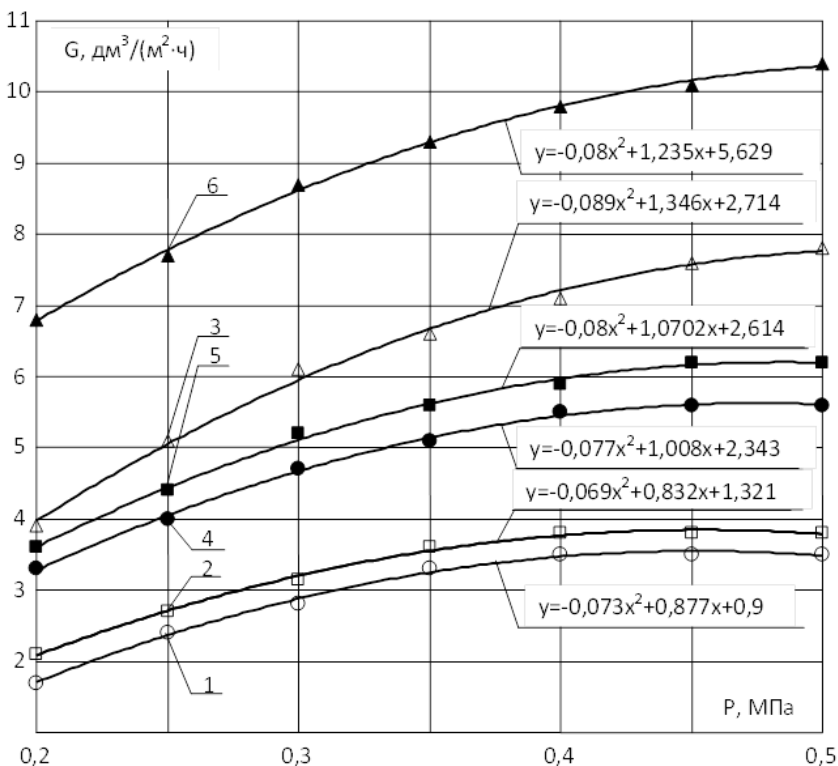


Рис. 1. Залежність продуктивності ( $G$ ) ультрафільтраційних мембран ПАН-50 (1, 2, 3) і ПАН-100 (4, 5, 6) від тиску фільтрації ( $P$ ) при мембранному поділі скотин (1, 4), знежиреного молока (2, 5) і молочної сироватки (3, 6) при температурі 20 °С в тупиковому режимі

На ділянці значень тиску від 0,35 МПа до 0,5 МПа продуктивність обох мембран стабілізується при ультрафільтрації сколотин і знежиреного молока і значно сповільнюється при ультрафільтрації молочної сироватки.

Так, для тупикового режиму робоче значення продуктивності при  $P = 0,2$  МПа складає для мембран ПАН-50 при ультрафільтрації сколотин  $1,8 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , при ультрафільтрації знежиреного молока -  $2,0 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , при ультрафільтрації молочної сироватки -  $3,9 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Для УФ-мембрани ПАН-100 значення продуктивності при зазначеній величині тиску складають відповідно  $3,3 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ,  $3,6 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$  і  $6,8 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . При підвищенні тиску до  $P = 0,35$  МПа продуктивність мембран ПАН-50 збільшується на 94% при УФ-обробці сколотин, на 90% при УФ-обробці знежиреного молока, на 62% при УФ-обробці молочної сироватки. Для УФ-мембран ПАН-100 при аналогічних умовах продуктивність збільшується на 54,5%, 52,8%, 35,5% відповідно. У той же час на ділянці значень тиску фільтрації від 0,35 МПа до 0,5 МПа зростання значень продуктивності мембран значно знижується. Так, зростання абсолютних значень продуктивності мембран ПАН-50 на цій ділянці становить 8,6% при УФ-обробці сколотин, 4,2% при УФ-обробці знежиреного молока, 20,1% при УФ-обробці молочної сироватки. Збільшення значень продуктивності мембран ПАН-100 на даній ділянці значень тиску фільтрації відповідно становить 11,8%, 12,7% і 14,1%.

Досліджували вплив робочого тиску фільтрації на швидкість виходу пермеата при ультрафільтрації досліджуваних видів БВМС в тупиковому режимі. У табл. 1 наведені результати досліджень на прикладі ультрафільтраційної мембрани ПАН-50.

З даних табл. 1 випливає, що із зростанням тиску до значення 0,4 МПа спостерігається збільшення швидкості виходу пермеата при ультрафільтрації всіх видів БВМС. При подальшому підвищенні тиску швидкість виходу пермеата збільшується незначно. На наш погляд, це пояснюється зростанням гідравлічного опору осаду, який утворився на поверхні ультрафільтраційної мембрани. Аналогічні результати були отримані для УФ-мембрани ПАН-100.

Таблиця 1

**Залежність виходу пермеата (мл) від тиску в процесі ультрафільтраційного поділу БВМС в тупиковому режимі за допомогою мембрани ПАН-50**

Тиск фільтрації, Р, МПа	Тривалість процесу УФ-обробки, $\tau \cdot 60^{-1}$ с					
	30	60	90	120	150	180
<b>Сколотини</b>						
0,2	14	30	44	56	62	64
0,3	17	36	50	61	67	71
0,4	19	38	53	64	71	75
0,5	20	39	55	65	73	77
<b>Знежирене молоко</b>						
0,2	15	32	45	58	63	66
0,3	18	37	51	63	68	73
0,4	20	40	54	66	72	77
0,5	22	41	56	67	74	78
<b>Молочна сироватка</b>						
0,2	21	42	56	69	77	81
0,3	27	44	59	70	81	88
0,4	30	46	62	72	85	90
0,5	32	48	64	76	88	91

**Висновки:** На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що робочим інтервалом тиску фільтрації є значення 0,4...0,5 МПа. Збільшувати тиск перевищує зазначені величини недоцільно, тому що це не призводить до значного підвищення продуктивності досліджуваних УФ-мембран.

### Список літератури

1. Брык М. Т. Мембранная технология в пищевой промышленности / М. Т. Брык, В. Н. Голубев, А. П. Чагаровский – К.: Урожай, 1991. – 224 с.
2. Лысова В. Н. Использование методов мембранной технологии в пищевой промышленности / В. Н. Лысова, Ю. И. Никулин, Е. Е. Иноземцев и др. // Вестник Астраханского государственного технологического университета. – 1996. – № 2. – С. 144–146.
3. Бабёнышев С. П. Мембранные технологии очистки растительного масла / С. П. Бабёнышев, И. А. Евдокимов // Хранение

и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 4. – С. 78–80.

4. Гранев И. Н. Мембранные технологии в молочной промышленности / И. Н. Гранев, С. В. Зверев // Молочное дело. – 2005. – № 2. – С. 78–80.

5. Ribeiro A. The optimisation of soybean oil degumming on a pilot plant scale using a ceramic membrane / A. Ribeiro, B. Ning, G. Goncalves // J. Food Eng. – 2008. – V. 87. – № 4. – P. 514–521.

6. Кудрявцев В. А. Ультрафильтрация диффузионного сока сахарной свеклы на мембранном элементе трубчатого типа / В. А. Кудрявцев, В. В. Спичак, П. А. Ананьева и др. // Сахар. – 2008. – № 1. – С. 33–35.

7. Lipp P. Stand der Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland / P. Lipp G. Baldauf // DVGW Energ. Wasser-Prax. – 2008. – v. 59 – № 4 – P. 60–64.

8. Al – Jeshi S. An experimental evaluation of reverse osmosis membrane performance in oily / S. Al – Jeshi A. Neville // Desalination. – 2007. – v. 228 – № 1–3. – P. 287–294.

9. Deynichenko G. Membrane concentration of non-fat milk stuff // G. Deynichenko, Z. Maznyak, I. Zolotukhina, O. Gafurov // Industrial Engineering Journal «RECET». – Vol. 12 (2011), No. 3 (33). – P. 245–248.

## **Аннотация**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ БЕЛКОВО- УГЛЕВОДНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ**

*В статье исследовали технологические параметры получения ультрафильтрационных концентратов белково-углеводного молочного сырья, в частности определена зависимость производительности УФ-мембран от давления мембранной обработки и влияние рабочего давления фильтрации на скорость выхода пермеата обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки в тупиковом режиме.*

## **Abstract**

### **DETERMINATION OF BARINE MODES FOR OBTAINING ULTRAFILTRATION CONCENTRATES OF PROTEIN- CARBON MILK RAW MATERIALS**

*The article investigates the technological parameters of obtaining ultrafiltration concentrates of protein-carbohydrate milk raw materials, in*

*particular the dependence of the performance of UV membranes on the pressure of membrane treatment and the influence of the working pressure of filtration on the rate of permeate release of skim milk, crevices and whey serum.*

**УДК 641.85:664.87**

**ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ МЯГКОГО  
МОРОЖЕНОГО НА ОСНОВЕ  
ЛАКТОЗОСОДЕРЖАЩЕГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ**

**Дейниченко Г.В., д.т.н., проф.,**

*(Харьковский государственный университет питания и торговли)*

**Кравченко Т.В., к.пед.н., доц.,**

*(Уманский государственный педагогический университет  
имени Павла Тычины)*

**Дейниченко Л.Г., к.т.н., ст. преподаватель**

*(Национальный университет пищевых технологий)*

*В статье доказана целесообразность использования белковых концентратов полученных из нежирного молочного сырья в технологиях ресторанной продукции. Предложены технологии производства жидкого и сухого полуфабрикатов для мягкого мороженого на основе лактозосодержащего молочного сырья, доказано, что они характеризуются высокой пищевой и биологической ценностью.*

**Постановка задачи:** Сегодня перед пищевой промышленностью остро стоит проблема недостаточности белка, ежегодный дефицит которого в питании человека составляет порядка 15 млн. т. Согласно статистическим данным, за последние годы в Украине среднедушевой показатель потребления белка снизился на 17...22 %. Для семей с низким уровнем дохода потребление белка не превышает 29...40 г в сутки, что в 2,5...3 раза меньше суточной нормы потребления [1]. Принимая во внимание то, что белковая недостаточность имеет серьезные для организма негативные последствия, такие как нарушение деятельности желез внутренней секреции, работы печени, нервной и эндокринной систем, изменения гормонального фона, сбой работы ферментной системы, ухудшения памяти и работоспособности [2], актуальным заданием на сегодня является поиск путей увеличения в суточном рационе питания

человека доли продуктов с повышенным содержанием белка.

Одним из способов решения поставленной проблемы является использование в процессе производства пищевых продуктов белковых концентратов, полученных вследствие переработки нежирного молочного сырья, в частности молочной сыворотки. Учитывая, что сывороточные белки молока содержат большее количество незаменимых аминокислот, чем казеин и, следовательно, являются более ценными в пищевом отношении, использование белковых концентратов на их основе в технологиях пищевой продукции является рациональным [3...4]. Кроме того, переработка молочной сыворотки с последующим получением белковых концентратов имеет ряд экономических преимуществ, таких как возможность внедрения безотходных технологий в рамках предприятия без масштабного переоборудования производства.

Анализ научно-технической литературы по вопросам использования белковых концентратов в пищевых технологиях показывает, что при довольно широком их применении в технологиях перерабатывающих отраслей пищевой промышленности подобное сырье практически не используется в ресторанном производстве. Однако, с учетом того, что новые кафе, бары, рестораны открываются в Киеве каждую неделю [5], логичным является улучшение качества продукции, которая предлагается потребителю подобными заведениями.

Первым в очереди стоит усовершенствование продукции, спрос на которую является высоким среди потребителей заведений ресторанного хозяйства – мясных блюд и десертов [5]. Но если мясная промышленность характеризуется активным использованием белковых концентратов для повышения качества продукции, количество аналогичных разработок технологий десертной продукции очень мало.

Одним из самых широко распространенных в меню предприятий ресторанного бизнеса десертов, является мороженное собственного производства. Учитывая скорость производственного процесса в ресторанных предприятиях и необходимость экономии времени и рабочей силы при изготовлении данного продукта, перспективным для ресторанов является использование полуфабрикатов мороженого, готовых к фризерованию, в виде сухих и жидких смесей. Поэтому создание новых технологий полуфабрикатов для мороженого с использованием белковых концентратов является актуальной проблемой на сегодня.

**Цель исследований:** Целью данной работы является оценка качества жидкого и сухого полуфабрикатов для мягкого мороженого на основе лактозосодержащего молочного сырья – нативной творожной сыворотки и концентрата сывороточных белков, полученного методом ультрафильтрации (КСБ УФ) [6...7].

**Основные материалы исследований:** Технология производства жидкого полуфабриката для мягкого мороженого предполагает смешивание яичного меланжа и сахара с творожной сывороткой, пастеризацию смеси при температуре 363...368 К в течение 5...8 минут, с последующими охлаждением, расфасовкой, упаковкой и транспортировкой на предприятия ресторанного бизнеса.

Способ приготовления сухого сыпучего полуфабриката для мягкого мороженого заключается в следующем. Компоненты рецептуры: КСБ УФ, сахар-песок, сухое молоко и яичный порошок просеивают, после соответствующего дозирования смешивают в течение 5...8 минут, расфасовывают и после упаковки транспортируют на ресторанные предприятия.

Для оценки качества разработанных полуфабрикатов были определены их сенсорные показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1

### Органолептические показатели полуфабрикатов

Наименование показателей	Характеристика полуфабрикатов	
	жидкого	сухого
Внешний вид	однородная жидкость без отслоения жира и взвешенных частиц	порошкообразная масса, однородная, без посторонних включений
Консистенция	густая, вязкая	сыпучая, допускается наличие легко рассыпающихся комочков
Цвет	зеленовато-желтый, соответствующий цвету сыворотки	от кремового до светло-желтого
Запах	кисло-молочный, чистый, без посторонних запахов	молочный, ярко выраженный, без посторонних запахов
Вкус	кисло-сладкий	сладкий, молочный, без примесей



Как следует из данных табл. 1, органолептические показатели свидетельствуют о высоком качестве полуфабрикатов, что обуславливает возможность широкого применения последних для приготовления ресторанной продукции.

Исследовали химический состав разработанных полуфабрикатов, приведенный в табл. 2. Анализ данных таблицы свидетельствует, что разработанные полуфабрикаты являются высокобелковыми продуктами. Невысокое содержание жира в сухом полуфабрикате позволяет рекомендовать его для использования в диетическом питании. Сухой полуфабрикат содержит несколько меньше сахарозы (на 3 %), чем жидкий, но гораздо больше молочного сахара (на 27,1%). Содержание органических кислот (в пересчете на молочную) в обоих полуфабрикатах примерно одинаковое, содержание золы в сухом полуфабрикате, являющемся пищевым концентратом, в восемь раз выше, чем в жидком. В целом, на основании результатов исследований, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что разработанные полуфабрикаты отличаются довольно высоким содержанием всех нутриентов и могут быть использованы для переработки в пищевую продукцию без снижения ее пищевой ценности.

Таблица 2

**Химический состав полуфабрикатов для мягкого мороженого**

Наименование продуктов	Содержание, %						
	Влаги	Белка	Жиры	Углеводов		Органических кислот	Золы
				лактозы	сахарозы		
Жидкий полуфабрикат	64,7 ± 1,2	6,3 ± 0,2	7,5 ± 1,0	3,5 ± 0,3	16,8 ± 0,8	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,05
Сухой полуфабрикат	5,5 ± 1,2	32,3 ± 1,4	5,7 ± 0,5	30,6 ± 1,4	19,8 ± 1,2	0,3 ± 0,1	5,8 ± 0,7

Исследовали аминокислотный состав полуфабрикатов для мягкого мороженого. В разработанных продуктах идентифицировано восемнадцать аминокислот, в том числе все незаменимые. Доля незаменимых аминокислот составляет 46,5 % в жидком

полуфабрикате и 46,7 % в сухом. Особенно велико содержание в продуктах валина, лизина, лейцина. В составе заменимых аминокислот отмечается повышенное содержание глутамина и аспарагиновой кислоты.

Для определения биологической ценности разработанных полуфабрикатов вычисляли аминокислотный скор и сравнивали его со стандартом (табл. 3).

Таблица 3

**Аминокислотный скор полуфабрикатов для мягкого мороженого**

Наименование аминокислоты	Предлагаемый ФАО/ВОЗ уровень содержания, мг на 1 г белков	% к стандарту	
		Жидкий полуфабрикат	Сухой полуфабрикат
Изолейцин	40	117	127
Лейцин	70	116	134
Метионин + цистин	35	133	104
Лизин	55	107	139
Фенилаланин + тирозин	60	166	152
Треонин	40	97	125
Валин	50	122	131
Триптофан	10	114	109

Анализ данных табл. 3 свидетельствует, что в белках обоих полуфабрикатов расчетный скор соответствует стандарту ФАО или превышает его (скор треонина в жидком полуфабрикате можно считать равным 100 вследствие стандартной погрешности вычислений).

Исследовали скорость расщепления белков полуфабрикатов для мягкого мороженого пищевыми протеиназами (табл. 4).

Как показывают данные табл. 4, степень протеолиза белков жидкого полуфабриката пепсином выше, чем трипсином. Для сухого полуфабриката наблюдается обратная картина. В целом перевариваемость белков жидкого полуфабриката близка к контролю (казеин), для сухого же полуфабриката некоторое снижение степени протеолиза объясняется, по-видимому, спецификой продукта и высоким содержанием сахарозы (до 20 %).

**Скорость перевариваемости и относительная биологическая ценность полуфабрикатов для мягкого мороженого**

Наименование полуфабрикатов	Степень протеолиза, мкг/ экв %			ОБЦ
	пепсином	трипсином	всего	
Казеин-контроль	5,05	25,28	30,43	100
Жидкий полуфабрикат	15,6 ± 1,2	11,7 ± 1,2	27,3 ± 1,2	163 ± 1,2
Сухой полуфабрикат	7,0 ± 0,6	13,3 ± 1,0	20,3 ± 0,8	141 ± 11

Результаты исследования относительной биологической ценности полуфабрикатов (табл. 4) показывают, что их ОБЦ превышает аналогичный показатель контрольного образца, причем клетки инфузории *Tetrahymena periformis*, выросшие на образцах, были крупнее и подвижнее, чем на казеине.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о высокой биологической ценности разработанных полуфабрикатов.

**Выводы:** Таким образом, разработанные технологии жидкого и сухого полуфабрикатов для мягкого мороженого на основе лактозосодержащего молочного сырья характеризуются высокой пищевой и биологической ценностью, повышенным содержанием белковых веществ, а также сбалансированным аминокислотным составом. Использование разработанных технологий на предприятиях ресторанного бизнеса позволит расширить ассортимент продукции с повышенным содержанием белка.

### Список литературы

1. Смоляр В.І. Основні тенденції в харчуванні населення України [Текст]/ Інститут екологієни і токсикології ім. Л.І. Медведя. Київська медична академія післядипломної освіти. – 2010.– Вип.:2. Проблеми харчування. – с. 5-9.
2. Кравченко Э. Состав и некоторые функциональные свойства белков молока/ Э. Кравченко, Ю. Свириденко, Н. Плисов// Молочная промышленность. – 2005. – №11. – С. 42–44.
3. Донская Г. А. Антиоксидантные свойства молочной сыворотки / Г. А. Донская, Е. В. Захарова // Молочная

промисленність. – 2010. – №9. – С. 72–73.

4. Дейниченко Г.В., Юдіна Т.І., Ветров В.М. Нові види копреципітатів та їх використання в харчових технологіях: Монографія. – Донецьк: Донеччина, 2010.– 176 с.

5. Что ждет рынок ресторанного бизнеса в 2020 году? [Электронный ресурс] // BizRating: продажа бизнеса и франшиз. – 2019. – Режим доступа к ресурсу: <http://bizrating.com.ua/20/articles/1328/index.html>.

6. Пат. 2031595 РФ, МКИ6 А 23 G 9/04. Способ приготовления мороженого / Г.В. Дейниченко, Е.Г. Найденова, А.П. Чагаровский (Украина).– № 92015602/13; Заявл. 30.12.92; Оpubл. 27.04.95, Бюл. № 9. – 3 с.

7. Дейниченко Г.В. Молочна сироватка – для морозива // Харчова і переробна промисловість.– 1997.– № 4.– С. 20-21.

## **Анотація**

### **ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЛЯ М'ЯКОГО МОРОЗИВА НА ОСНОВІ ЛАКТОЗОВМІСНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ**

*В статті доведено доцільність використання білкових концентратів отриманих з нежирної молочної сировини в технологіях ресторанної продукції. Запропоновано технології виробництва рідкого та сухого напівфабрикатів для м'якого морозива на основі лактозовмісної молочної сировини, доведено, що вони характеризуються високою харчовою та біологічною цінністю.*

## **Abstract**

### **TECHNOLOGY OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR SOFT ICE-CREAM BASED ON DAIRY RAW MATERIALS CONTAINING LACTOSE**

*The article proves expediency of use of protein concentrates obtained from non-fat dairy products in technologies of restaurant dishes. The technologies of liquid and dry semi-finished products for soft ice-cream based on dairy raw materials containing lactose are proposed. It is proved that they are characterized by high nutritional and biological value.*

УДК 664.681

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАТУ СКОЛОТИН НА ЯКІСТЬ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ КЕКСІВ

Юдіна Т.І., д.т.н., проф., Безрученко О.М.,

(Київський національний торговельно-економічний університет)

Кравченко Т.В., к.пед.н., доц.

(Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини)

*У роботі обґрунтовано доцільність використання концентратів молочних білків у технології безглютенових борошняних кондитерських виробів. Досліджено вплив молочно-білкового концентрату сколотин на органолептичні та структурно-механічні властивості тіста та готових безглютенових кексів.*

**Постановка задачі.** Серед хвороб, пов'язаних з неправильним харчуванням, лікування яких може бути модифіковано впровадженням персоналізованого харчування є целиакія – хронічне захворювання, що проявляється у стійкій непереносимості глютену (злаковий білок пшениці, жита, ячменю, вівса). Єдиним способом лікування цього захворювання і профілактикою всіх його важких ускладнень є строге і довічне дотримання безглютенової дієти [1].

Насичення ринку безглютеновими харчовими продуктами – одна з проблем що поставлена життям перед науковцями і промисловістю країни. Особливу увагу, на наш погляд, слід приділити хлібопекарській продукції та борошняним кондитерським виробам (БКВ), які є найбільш повсякденно вживаними і виступають головним джерелом глютену, бо включають пшеничне борошно як основний сировинний ресурс.

Класичні рецептури безглютенових БКВ засновані на використанні економічно доступних видів аглютененового борошна - рисового та кукурудзяного, рідше гречаного. Основним недоліком означених виробів є їх низька харчова цінність, що обумовлена високим вмістом крохмалю у аглютенівій борошняній сировині, низьким вмістом білків, харчових волокон, вітамінів, мінеральних нутрієнтів [2].

Аналіз літературних джерел свідчить, що використання безклейковинного борошна у виробництві борошняних кондитерських виробів, зокрема кексів на хімічних розпушувачах, викликає низку технологічних проблем і потребує різноманітних допоміжних засобів щодо поліпшення структури безглютенового

тіста. Визначено кроки щодо регулювання структурно-механічних властивостей безглютенового тіста. По-перше, це застосування борошняних сумішей, а не окремих видів безглютенового борошна, що дозволяє суттєво поліпшити структуру виробів, їх харчову та біологічну цінність. По-друге, це цілеспрямоване підвищення харчової цінності безглютенових борошняних кондитерських виробів, додаванням до рецептури білоквміщуючої сировини, зокрема концентратів молочних білків [3, 4].

Перспективною сировиною для виробництва борошняних кондитерських виробів є молочно-білковий концентрат (МБК) сколотин, який отримують з вторинної молочної сировини спільним осадженням казеїну та сироваткових білків. Він має біологічну цінність значно вищу, ніж сир кисломолочний, так як сироваткові білки за вмістом незамінних амінокислот мають перевагу перед казеїновими фракціями. Підвищену харчову цінність молочно-білкового концентрату сколотин обумовлює вміст 20,8% білка, 1,34% жиру, 0,16 % кальцію, 0,24 % фосфору та інших мікроелементів і водорозчинних вітамінів [5].

Слід зазначити, що однією з важливих властивостей молочних білків сколотин, від якої залежить технологічний процес виробництва харчової продукції, є здатність до гідrataції. Завдяки цій властивості білки характеризуються певною вологозв'язуючою та вологоутримуючою здатністю, що впливає на консистенцію тіста та структуру готових БКВ, технологію їх виробництва і тривалість зберігання [6].

**Метою досліджень** було визначення впливу молочно-білкового концентрату сколотин на органолептичні та структурно-механічні властивості тіста та готових безглютенових кексів.

**Основні матеріали досліджень.** На підставі серії попередніх експериментів та з урахуванням відомостей, що містяться у науково-технічній літературі, розроблено технологію безглютенового кексу з використанням молочно-білкового концентрату сколотин [7]. У розробленій технології передбачено введення до складу тіста кукурудзяного та рисового борошна у співвідношенні 60...70% і 40...30%, відповідно, від загальної кількості борошняної суміші за рецептурою, а також молочно-білкового концентрату сколотин.

З метою визначення раціональної кількості молочно-білкового концентрату сколотин побудовано модельні харчові композиції безглютенових кексів (табл. 1) та проведено вивчення їх структурно-механічних та органолептичних показників.

Таблиця 1

**Модельні харчові композиції безглютенового кексу з  
використанням концентрату сколотин**

Сировина	Співвідношення сировини, мас. %				
	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Борошно пшеничне	23,9	-	-	-	-
Борошно рисове	-	6,4	6,4	9,0	9,0
Борошно кукурудзяне	-	16,1	16,1	13,5	13,5
Цукор-пісок	27,3	20,9	20,9	20,9	20,9
Масло вершкове	13,8	18,2	18,2	18,2	18,2
Сир кисломолочний 18% жирності	21,3	-	-	-	-
МБК сколотин	-	22,3	25,2	28,1	31,0
Меланж	13,6	16,0	13,1	10,2	7,3
Амоній двовуглекислий	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Натрій двовуглекислий	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Тісто для кексів можна розглядати як структуровану дисперсну систему, для якої характерна залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву. Його структурно-механічні властивості залежать від таких факторів як вологість, температура, рецептура, тривалість та інтенсивність механічної дії, властивостей борошна та ін. [8].

В такій системі, що складається з твердої, рідкої і газоподібної фаз, основний внесок в структурно-механічні характеристики вносять контактні взаємодії. Критерієм величини контактних взаємодій є порівняння енергії контактних взаємодій та енергії, що підводиться до системи для досягнення стану гранично зруйнованої структури [9].

Тому, на наступному етапі досліджували вплив МБК сколотин на зміну в'язкості і щільності тіста в залежності від замінного рецептурного компонента і його дозування.

Щільність тіста дозволяє побічно судити про ступінь насичення його повітрям. Зі збільшенням частки повітряної фази

щільність тіста знижується, що призводить до збільшення обсягу готових кексів [10].

Дослідження в'язкості тіста для кексів здійснювали на ротаційному віскозиметрі "Реотест-2" в діапазоні швидкостей зсуву від 0,167 до 4,5 с<sup>-1</sup>, оскільки відомо, що структура кексового тіста руйнується при більш високих швидкостях зсуву [11]. Вимірювання проводили відразу після замісу при кімнатній температурі 20 ± 2°C. В якості контролю використовували зразок тіста кексу «Сирний», що виготовлений за традиційною технологією [12]. Результати досліджень надані в табл. 2.

Таблиця 2

**Показники якості тіста безглютенового кексу  
з використанням концентрату сколотин**

Показники	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Ефективна в'язкість, Па·с, за $\gamma=0,9 \text{ с}^{-1}$	168,78	135,7	168,9	175,4	198,60
Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,68	1,54	1,67	1,70	1,84

З представлених даних видно, що зі збільшенням дозування МБК сколотин відбувається поступове збільшення в'язкості і щільності кексового тіста в порівнянні з контрольним зразком. Збільшення в'язкості обумовлено високою вологозв'язуючою здатністю рисового борошна та МБК сколотин. Збільшення щільності тіста можна пояснити зменшенням кількості повітряної фази в тісті, внаслідок зниження кількості піноутворювача (меланжу), а також надлишку твердих частинок в системі, на поверхні яких може відбуватися адсорбція поверхнево-активних речовин, що додатково знижує їх концентрацію в розчині.

Таким чином, найбільш близькі значення по в'язкості та щільності тіста по відношенню до контролю мають дослід № 2 і № 3 при дозуванні МБК сколотин у кількості 25,2...28,1% при одночасному зменшенні кількості меланжу по сухій речовині, що, імовірно, забезпечить отримання виробів з добре розпушеною структурою і поліпшеним хімічним складом.

Органолептичну оцінку готових кексів визначено за п'ятибальною системою. Кожному органолептичному показнику



якості присвоєно коефіцієнт вагомості: для зовнішнього вигляду – 0,20, для кольору – 0,15, для консистенції – 0,25, для запаху – 0,15, для смаку – 0,25 (табл.3).

Таблиця 3

**Органолептична оцінка безглютенового кексу  
з використанням концентрату сколотин**

Показники	Коефіцієнт вагомості	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Зовнішній вигляд	0,20	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0
Колір	0,15	5,0	4,9	5,0	4,9	4,9
Смак	0,25	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7
Запах	0,15	4,9	5,0	5,0	5,0	4,9
Консистенція	0,25	4,9	4,5	4,9	4,9	4,7
Загальна оцінка	1,0	24,8	24,1	24,7	24,6	24,2

Як показали результати пробних лабораторних випікань найкращі органолептичні показники мають досліді №2 і №3. Одержані вироби характеризуються гарним зовнішнім виглядом, випуклою без розривів поверхнею, щільним м'якушем жовтого кольору з текстурою, що адекватна традиційному кексу «Сирному».

**Висновки.** Додавання до рецептури 25,2...28,1% молочно-білкового концентрату сколотин сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності тіста, дозволяє комбінувати білки тваринного походження з рослинними білками борошна, створює передумови для розширення асортименту безглютенових кексів з підвищеною харчовою цінністю та заданими споживними властивостями.

**Список літератури**

1. Jeffrey L. Gluten-free baked products/ L.C. Jeffrey, W.A. Atwell // AACC International, Inc. , 2014. 88 p.
2. Новая технология производства хлебобулочных изделий, не содержащих глютен // Food Technologies&Equipment, 2008. № 7. С.9.

3. Матвеева И. Перспективные виды сырья для производства безглютеновых изделий / И. Матвеева, В. Нестеренко // Хлебопродукты, 2011. № 8. С. 42–44.

4. Дробот В. І. Технологічні аспекти використання борошна круп'яних культур у технології безглютенового хліба / В. І. Дробот, А. М. Грищенко // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. / Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2013. Вип. 30. С. 52–58.

5. Гніцевич В. А. Технологія та біологічна цінність молочно-білкових копреципітатів/ В.А. Гніцевич, Т.І. Юдіна, Л.Г. Дейниченко // Товари і ринки. – 2016.– №2.– С.148-158

6. Дейниченко Г.В. Нові види копреципітатів та їх використання в харчових технологіях [Текст] : монографія / Г.В. Дейниченко, Т.І. Юдіна, В.М. Ветров. – Донецьк : Донеччина, 2010. 176 с.

7. Юдіна Т.І., Безрученко О.М., Павлюченко В.О. Обґрунтування складу борошняної сировини у технології безглютенових кексів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 1. С. 179-186.

8. Steele, I.W. The search of consistency in biscuit doughs / I.W. Steele // Baking Ind. Journal, 9 (3), p.21

9. Горальчук А. Б. Технологія термостабільних емульсійних соусів на основі овочевої сировини : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Горальчук Андрій Богданович. – Х. , 2008. – 298 с.

10. Менли, Д. Мучные кондитерские изделия. / Д. Мэнли; пер. с англ. В.Е. Ашкинази; науч. ред. И.В. Матвеева. - СПб: Профессия, 2013. -558 с.

11. Туркова, А.Ю. Совершенствование технологии кексов функционального назначения [Текст] : дис. ...канд. техн. наук: 05.18.01 / Туркова Анна Юрьевна. – Орел, 2015. – 159 с.

12. Збірник рецептур борошняних кондитерських і здобних булочних виробів: Навчально-практичний посібник / О.В. Павлов. – Видання перероблене і доповнене. Київ: ПрофКнига, 2018. - 336с.

## **Аннотация**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАТА ПАХТЫ НА КАЧЕСТВО БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ КЕКСОВ**

*В работе обоснована целесообразность использования концентратов молочных белков в технологии безглютеновых мучных кондитерских изделий. Исследовано влияние молочно-белкового*

*концентрата пахты на органолептические и структурно-механические свойства теста и готовых безглютеновых кексов.*

## **Abstract**

### **RESEARCH INFLUENCE OF MILK-PROTEIN CONCENTRATE FROM BUTTERMILK ON THE QUALITY OF GLUTEN-FREE CAKES**

*The work substantiates the feasibility of using milk protein concentrates in the technology of gluten-free flour confectionery. The effect of milk-protein buttermilk concentrate on the organoleptic and structural-mechanical properties of the dough and ready-made gluten-free cakes is studied.*

**УДК 664.68**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ ШРОТІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ПІСОЧНОГО ПЕЧИВА**

**Кравченко М.Ф., д.т.н., проф., Михайлик В.С., здобувач,**  
*(Київський національний торговельно-економічний університет)*

**Марусяк Т.М., к.т.н., ст.викл.**  
*(Чернівецький торговельно-економічний інститут КНТЕУ)*

*У статті наведено розрахунок оптимального співвідношення композиційної суміші шротів у технології пісочного печива. Планування експерименту було виконано за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкена. В результаті проведених експериментальних та розрахункових досліджень були визначені концентрації шротів волоського горіха і кунжуту. Було побудовано поверхню відгуку.*

Борошняні кондитерські вироби посідають вагоме місце у виробництві та реалізації продукції харчування. Споживання борошняних кондитерських продуктів зростає і забезпечує різноманітні смаки дітей та дорослого населення. За результатами досліджень фактичного стану харчування населення України споживає значну кількість борошняних кондитерських виробів, які мають високий вміст вуглеводів, жирів та незбалансований хімічний склад. Актуальним завданням для науковців на сьогоднішній день є оптимізація хімічного складу та підвищення біологічної цінності

борошняних кондитерських виробів за рахунок використання натуральної сировини, яка має високу харчову і біологічну цінність, а також має вітаміни та мікро- і макроелементи – калій, кальцій, ферум, йод, селен [1].

Пісочне печиво користується попитом у населення, а у загальній структурі виробництва борошняних кондитерських виробів пісочні кондитерські вироби складають майже 25 %.

Є відомості про дослідження вчених Ільдірової С. К., Іоргачової К. Г., Шидакової-Каменюки О. Г., Поп Т. М., Бачинської Я. О. щодо підвищення біологічної цінності пісочного печива за рахунок використання порошку листя волоського горіха [2], розторопші плямистої [3], борошна насіння льону [4], шротів зародків пшениці [5].

Проте у науковій літературі не знайдено даних щодо використання композиції шротів олійних культур (а саме насіння кунжуту і ядер волоського горіху) в технології пісочного печива, що і актуалізує такі дослідження.

Шрот – побічний продукт переробки насіння кунжуту, ядер волоського горіху після одержання з них олій. Вони мають порошкоподібну структуру та підвищений вміст клітковини, білка, вітамінів групи В, мінеральних речовин.

У шроті ядер волоського горіху визначено підвищений вміст Селену в легкозасвоюваній формі, а також доведено, що він проявляє антиканцерогенну дію [6;7].

Шроти олійних культур володіють також функціонально-технологічними властивостями, а саме вираженими сорбційними, антиоксидантними, детоксичними, комплексоутворюючими [8].

*Об'єкт дослідження* — модельні композиційні суміші шротів олійних культур, пісочне тісто.

*Мета дослідження* – визначити оптимальне співвідношення шротів олійних культур для покращення поживної цінності пісочного печива.

*Матеріали та методи.* Матеріалом слугували шроти насіння кунжуту, ядер волоського горіху виробництва "ПП Мірослав" (Україна).

Оптимальне співвідношення двох видів шротів у композиції визначено методом математичного моделювання [9].

Планування експерименту виконано за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкена. Всі фактори експерименту варіювалися на верхньому («+») та нижньому («-») рівнях, значення

котрих були обрані за результатами попередніх експериментів. Було використано повний двофакторний експеримент з рівнями варіювання -1; 0; +1. В таблиці 1 наведено умови проведення повного двофакторного експерименту.

Таблиця 1

**Рівні та інтервали факторів варіювання**

Рівні	Фактори	
	Вміст шроту волосякого горіха	Вміст шроту кунжуту
	$X_1$	$X_2$
Основний ( $x_{i0}$ )	3	3
Інтервал варіювання ( $\Delta x_i$ )	2	2
Верхній ( $x_{i \max}$ )	5	5
Нижній ( $x_{i \min}$ )	1	1

В таблиці 2 представлена матриця планування експерименту.

Таблиця 2

**Матриця планування експерименту**

j	Значення фактора			
	натуральні		кодовані	
	Вміст шроту волосякого горіха	Вміст шроту кунжуту	$x_1$	$x_2$
1	1	1	1	-1
2	5	1	1	1
3	1	5	1	-1
4	5	5	1	1
5	1	1	1	-1
6	5	1	1	1
7	1	5	1	-1
8	5	5	1	1
9	0,6	3	1	-1,2
10	5,4	3	1	1,2
11	3	0,6	1	0
12	3	5,4	1	0
13	3	3	1	0
14	3	3	1	0
15	3	3	1	0
	Разом		15	10

В натуральних змінних поліном має вигляд:

$$Y=5,2005+0,3748*x_1+0,2892*x_2+0,0075*x_1*x_2+0,0058*x_1+0,0076*x_2-0,0020*x_1*x_2+0,003*x_1^2+0,0021*x_2^2$$

Результати експерименту по визначенню вмісту білка і поверхня відклику представлено на рис. 1. Дані наведені з урахуванням похибки експерименту.

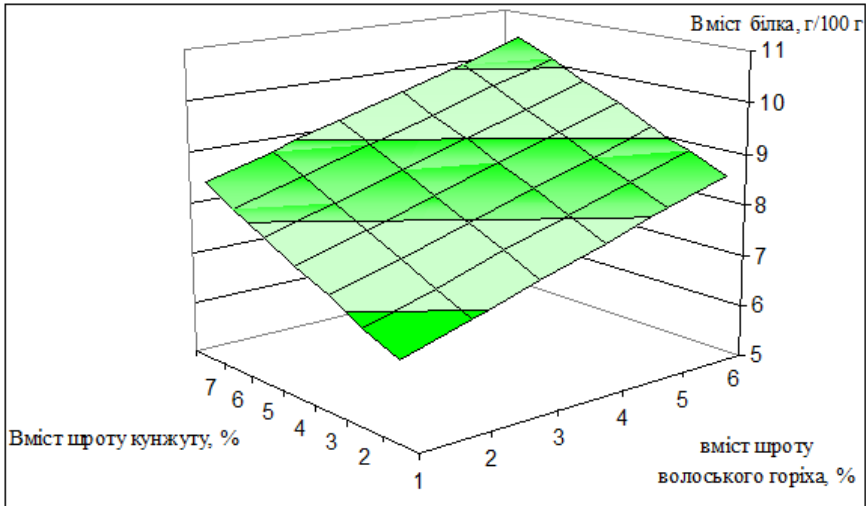


Рис. 1. Залежність вмісту білка від вмісту шроту волоського горіха та шроту кунжуту

З метою математичного обґрунтування вмісту добавок в пісочне тісто використовували спосіб рішення компромісних задач багато параметричної оптимізації методом сполучених градієнтів. Для обчислення була використана надбудова «Пошук рішень» пакету MS Excel.

**Висновки.** На основі визначеного хімічного складу шротів насіння кунжуту, волоського горіха математичним моделюванням підібрано раціональну композицію шротів кунжуту і волоського горіха у співвідношенні 1:3,35. Встановлено, що найбільш оптимальним є внесення 20% композиції шротів замість борошна згідно з класичною рецептурою пісочного печива, оскільки кількість білків збільшилась у 2.4 раза.

## Список літератури

1 Кондратьев Н. Б. Особенности оценки пищевой ценности кондитерских изделий здорового питания. Кондитерское производство. 2011. № 6. С. 9—11.

2. Кравченко М., Поп Т. Хімічний і фракційний склад порошку з листя волоського горіха.// Товари і ринки. 2014. № 2. С. 124—131.

3. Ільдірова С. К., Стіборовський С. Є., Старостеле О. В. Технологія виробів з пісочного тіста з використанням дикорослої розторопші плямистої. Харчова наука і технологія. 2010. № 1 (10). С. 91—94

4 Шидакова-Каменюка О. Г., Лисюк Г. М. Визначення раціонального дозування насіння льону до пісочного печива. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2009. Вип. 1. С. 347—353.

5. Бачинська Я. О., Непочатих Т. А., Бородай Д. В. Шляхи підвищення біологічної цінності кондитерських виробів та вдосконалення технології виробництва печива з використанням шротів. Зернові продукти і комбікорми. 2013. № 3. С. 27—30.

6. Голубкина Н. А., Капитальчук М. В., Капитальчук И. П. Грецкие орехи как источник эссенциального микроэлемента селена. Вопросы питания. 2009. № 6. С. 73—77.

7. Ивкова И. А., Пиляева А. С. Современные ингредиенты в производстве здобного печенья. Кондитерское производство. 2012. № 1. С. 14—15.

8. Кучарська Л. В. Кунжут – скарбниця здоров'я. Охорона здоров'я населення. 2011. № 10. С. 8—9.

9. Кобзар А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816с.

## Аннотация

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ СМЕСИ МАСЛА В ТЕХНОЛОГИИ ПЕСЧАНОГО ПЕЧЕНЬЯ**

*В статье представлен расчет оптимального соотношения композиционной смеси масличных культур в технологии песочного печенья. В результате экспериментальных и проектных исследований были определены концентрации грецких и кунжутных блюд. Поверхность ответа была построена.*

## **Abstract**

### **DETERMINATION OPTIMAL RATIO OF A COMPOSITIONAL MIXTURE OF OILSEEDS IN SANDY COOKIES TECHNOLOGY**

*The article presents the calculation of the optimal ratio of the composite mixture of oilseeds in the technology of shortbread cookies. As a result of the experimental and design studies, the concentrations of walnut and sesame meals were determined. The response surface was built.*

**УДК 664.8.037-026.656:641.85**

### **ТЕХНОЛОГІЯ ЗАМОРОЖЕНИХ ДЕСЕРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОТЕХНОЛОГІЙ**

**Медведєва А.О., к.т.н., доц., Антонюк І.Ю., к.т.н., доц.**

*(Київський національний торговельно-економічний університет)*

*У статті розглянуто доцільність використання рідкого азоту у технології заморожених десертів. Розраховано хімічний склад у розроблених заморожених десертах з рослинною сировиною. Розроблено технологічні карти та схеми на нові види продукції, впроваджено у виробництво.*

**Постановка задачі:** Насичення ринку традиційними, а також новими видами заморожених десертів обумовлює неминуче виникнення серед закладів ресторанного господарства на споживчому ринку конкуренції, що постійно росте. У цей період посилюється вагомість закладів, які здатні забезпечити свою конкурентоздатність на ринку за рахунок створення максимально сприятливих умов споживачам: низька ціна і стабільно висока якість [1].

За останні роки спостерігається тенденція підвищення обсягу виробництва заморожених десертів в Україні, що обумовлено постійним зростанням попиту на них. Споживачі надають перевагу якісній, смачній та гарно оформленій продукції, широкому асортименту морозива та заморожених десертів.

Заморожені десерти містять важливі мікро- та макроелементи, такі як Натрій, Калій, Кальцій, Магній, Купрум, Ферум, Сіліцій, Фосфор, які дуже важливі для нормального розвитку організму. Мінеральні речовини суттєво підвищують харчову цінність заморожених десертів [2].



Харчова, біологічна і енергетична цінність заморожених десертів визначається видом використаної сировини та вмістом в ній основних харчових речовин, а також умовами ведення технологічного процесу їх виробництва, тобто такими його параметрами, які забезпечать максимальне збереження цих речовин [3].

Цілеспрямоване збагачення заморожених десертів (фортифікація) ще не набуло широкого застосування на вітчизняному ринку, але деякі види цих продуктів вже можна віднести до заморожених десертів з підвищеною біологічною цінністю.

Процес виробництва заморожених десертів складається з наступних етапів: складання сумішей із сировинних компонентів і їх перемішування до отримання однорідного по всьому об'єму складу, пастеризації, фільтрування, гомогенізації (для підвищення дисперсності жирових частинок в жировмісних сумішах), охолодження, зберігання, фризеравання сумішей (для часткового випаровування води і насичення повітрям), загартовування (подальшого заморожування) десерту та його зберігання до реалізації.

Таким чином, в процесі виробництва суміш, а потім і сам десерт піддаються складній технологічній обробці. У результаті цього відбувається не тільки зміна розмірів часток дисперсної фази, а й формування її нових компонентів – повітряних бульбашок, кристалів льоду і лактози, жирових кульок, повітряних бульбашок, частинок наповнювачів у сумішах і морозиві їх розміри в основному перевищують 1 мкм. Такі включення не можуть не впливати на процес утворення кристалів льоду в замороженому десерті, а від розмірів і форми кристалів льоду значною мірою залежать структура, консистенція, а також його смакові якості [4-7].

Необхідність аналізу функціональних властивостей сировини призвело до пошуку та дослідження нових речовин, які б могли використовуватись в якості альтернативи і були добре відомими. Незважаючи на те, що заморожені десерти досить відомі продукти харчування, питання підбору та використання корисних природних заміників є досить актуальним та потребує більш детального вивчення, що і пропонується зробити.

Робота присвячена розробці заморожених десертів (морозива) з використанням кріотехнологій (рідкого азоту), що відрізняються рекордною кількістю БАР та мають високі смакові властивості.

**Завдання:** розроблення молекулярних кріотехнологій

заморожених десертів (морозива) з зразків: морквяно-обліпихового, малиново-чорничного та лимонного з ківі, розробка технологічних карт і схем; впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження: технологія морозива, молекулярні кріотехнології заморожених десертів.

Предмет дослідження: заморожені десерти (морозиво) з зразків: морквяно-обліпиховий, малиново-чорничний та лимонний з ківі.

Методи дослідження: органолептичні, емпірична база дослідження, аналіз, методи планування експерименту і математичної обробки експериментальних даних на основі комп'ютерних технологій.

Мета дослідження – обґрунтування та розроблення технології заморожених десертів (морозива) з використанням кріотехнологій (рідкого азоту).

**Основні матеріали досліджень:** З появою молекулярної кухні, відомі шеф-кухарі стали використовувати незвичайні охолоджувальні властивості рідкого азоту в приготуванні страв і напоїв. Він використовується для того, щоб швидко заморозити будь-які субстанції. Оскільки рідкий азот так само швидко випаровується, не залишаючи ніяких слідів (його велика перевага, що він не має запаху, кольору і смаку), його можна з успіхом використовувати для приготування різноманітних страв, у тому числі тих, які роблять безпосередньо в тарілці відвідувачів кафе і ресторанів.

У рідкому стані азот (температура кипіння – 195,8°C) – безбарвна, рухлива, як вода, рідина. При контакті з повітрям поглинає з нього кисень. При температурі 209,86°C азот переходить в твердий стан у вигляді снігоподібної маси або великих білосніжних кристалів. При нормальному атмосферному тиску, рідкий азот закипає при температурі 196°C і є кріогенною рідиною, яка викликає миттєве охолодження їжі або свіжих фруктів і овочів при контакті з ним. Традиційно, рідкий азот використовується в харчовій промисловості на ринку замороженої продукції.

Приготування страв з використанням рідкого азоту має на меті швидке заморожування продукту для збереження його текстури. Найдрібніші кристали льоду утворюються на поверхні рідких і пастоподібних продуктів, забезпечуючи отримання практично ідеальної геометрії поверхні. При цьому тканини і клітини продукту проморозжуються настільки, що при контакті з киснем, набувають надзвичайну крихкість. Це відбувається внаслідок того, що при

заморожуванні азот витісняє атмосферне повітря, заповнюючи собою міжклітинний простір. Повністю заморожені вироби в рідкому азоті розпадуться на найдрібніші пластівці – частки (після 20-30 хв. заморожування) [8-10].

Сировина, що використовувалася при виробництві заморожених десертів відповідає за якістю вимогам діючої нормативної документації.

Для оцінки рівня якості морозива взято органолептичні показники і визначено їх значимість (вагомість), що в сумі дорівнює 1. Для цього встановлено ієрархію показників. На перший план висунуто показник, який має найбільшу значимість для споживача, а саме зовнішній вигляд десерту – максимальний бал 7; смак і запах – 5 балів, колір – 3 бали, структура – 3 бали та консистенція – 2 бали.

Таким чином, харчова, біологічна і енергетична цінність десерту визначається видом використаної сировини та вмістом в ній основних харчових речовин, а також умовами проведення технологічного процесу його виробництва, тобто такими його параметрами, які забезпечать максимальне збереження цих речовин. Розраховано харчову та біологічну цінність розроблених десертів в порівнянні з контролем, а також добову потребу розроблених десертів (табл. 1).

Отже, розроблені десерти з використанням рослинної сировини переважають за вмістом основних нутрієнтів, мають зменшену енергетичну цінність порівняно з контролем.

На підставі постановочних дослідів та технологічних проробок розроблено технологію заморожених десертів (морозива): морквяно-обліпихове, малиново-чорничне та лимонне з ківі. Розроблено технологічні карти і схеми на нові види морозива; технологію впроваджено у виробництво; отримано патент на корисну модель [11].

Після оцінки кожного зразка за вибраними показниками якості розраховано бали з урахуванням коефіцієнта вагомості. Для цього коефіцієнти вагомості помножено на бали, що отримали при оцінці десертів за органолептичними показниками.

Згідно проведеної органолептичної оцінки якості десертів 3-х видів отримано найвищі показники якості – по 20 балів та, відповідно, бали з урахуванням коефіцієнта вагомості – 4,8.

Заморожені десерти подають на льоду, у бокалах, фруктах, вазах з льоду з десертними наборами до чи після основних страв, при температурі – 18°.

Таблиця 1

**Харчова та біологічна цінність розроблених десертів**

Показник	Конт роль	Морк- в'яно- обліпи- ховий	Мали- ново- чорнич- ний	Лимон- ний з ківі	Добова пот- реба	Відсоток від добової потреби, %
Білки, г	0,8	1,66	0,74	1,15	73	4,87
Жири, г в т. ч.,	0,4	5,6	0,48	0,73	74	4,95
Ненасичені ЖК, г	0,431	10,3	0,15	0,2	0,35	3042,86
Насичені ЖК, г	0,05	2,2	0,1	0,191	0,15	166,70
Вуглеводи, г в т. ч.,	74,3	6,4	7,95	7,56	424	22,1
Моно- і дисхариди, г	68	1	6,55	7,3	100	15
Органічні кислоти, г	15	2,6	2,7	0,1	0,2	2700
Вода, г	87,4	171	172,4	85,55	2200	19,5
Харчові волокна, г	2,2	7,5	6,8	6,8	25	18,7
Зола (мінеральні речовини), г	0,4	1,7	0,9	2,03	35	13,23
Енерге тична цінність, кКал	422	117	90	44	2650	9,5

**Висновки:**

Отже, технологія охолодження морозива за допомогою рідкого азоту багато в чому перевершує традиційні методи охолодження, оскільки морозиво охолоджується додаванням рідкого азоту безпосередньо в суміш інгредієнтів. Це дозволяє охолодити морозиво протягом 1-2 хв. Завдяки цьому розмір кристалів льоду в морозиві наймінімальніший, а його текстура - найніжніша. Звичайне морозиво охолоджується при температурі – 25°-30°С впродовж декількох годин. Проте, чим довший процес заморожування і вища температура, в якій воно замерзає, тим більше за розміром в ньому

кристали льоду. І відповідно навпаки, чим швидше і при нижчій температурі охолоджується морозиво, тим меншими виходять кристали льоду.

### Список літератури

1. Бейл К. Вкусовые качества сорбетов.// Food Technologies & Equipment. - №3 03/2013. – С. 75-77.
2. Робер Ф. Большая кулинарная книга Алена Дюкасса. Десерты и кондитерские изделия.– К.: Нора-принт, 2014. – 326 с.
3. ДСТУ 4735:2007 Морозиво з комбінованим складом сировини. Загальні технічні умови. (Чинний від 04.09.07).
4. Зумбо А. Экзотические десерты от Адриано Зумбо. – М.: Святос, – 2014. – 115с.
5. Орельский К. Десерты – замороженное чудо.// Food UA. Продукты Украины. - №7 07/2013. – С. 25-29.
6. Шпилей А. //Лечебно-профилактические виды замороженных десертов//Food&drinks. - №2 02/2014. – С. 55-69.
7. Артель «Піровний»: морозиво із рідкого азоту. Режим доступу: <http://pirovniy.ru/kulinarnoe-shou/stantsii/shou-morozhennoe-na-zhidkom-azote>
8. Заморожені продукти: сорбет і парфе. Режим доступу: [www.proinfo.com.ua](http://www.proinfo.com.ua).
9. Морозиво з нано- азотом на святковій події. Ice Cream Bar. Режим доступу: <http://icesreambar.ru/s-azotom-morozhenoe/>
10. Морозиво та заморожені десерти. Режим доступу: [http://oede.by/recipe/tags/morozhenoe\\_i\\_zamorozhennye\\_deserty/](http://oede.by/recipe/tags/morozhenoe_i_zamorozhennye_deserty/)
11. Медведева А.О., Андрухова О.С. Спосіб виробництва кріосорбету “Green Oasis” з природними антиоксидантами./ Патент України на корисну модель № 107421 від 10.06.2016.

### Аннотация

#### ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМОРОЖЕННЫХ ДЕСЕРТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИОТЕХНОЛОГИЙ

*В статье рассматривается целесообразность использования жидкого азота в технологии замороженных десертов. Рассчитан химический состав разработанных замороженных десертов с растительным сырьем. Разработаны и внедрены в производство технологические карты и схемы для новых видов продукции.*

## Abstract

### TECHNOLOGY OF FROZEN DESSERTS USING CRYOTECHNOLOGIES

*The article discusses the feasibility of using liquid nitrogen in the technology of frozen desserts. The chemical composition of the developed frozen desserts with vegetable raw materials is calculated. Technological maps and schemes for new types of products have been developed and introduced into production.*

УДК 664.236:664.65-027.38]:664.68

### ЯКІСТЬ КЛЕЙКОВИНИ ТІСТОВОГО НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ БОРОШНЯНИХ КУЛІНАРНИХ ВИРОБІВ

Перепелиця М.П., к.т.н.

*(Київський національний торговельно-економічний університет)*

*У статті досліджено якість клейковини тістового напівфабрикату для борошняних кулінарних виробів з прісного тіста. Проаналізовано вплив білково-жирової добавки та карагану на такі показники якості прісного тіста як пластичність, еластичність, пружність, розкочуваність, розпливання кульки та маса клейковини та визначено їх раціональні співвідношення у тістовому напівфабрикаті.*

**Постановка проблеми.** На думку зарубіжних та вітчизняних вчених здоров'я людини залежить на 19–20% від спадковості, на 18–20% – від соціально-економічних та екологічних умов, на 8–9% – від системи охорони здоров'я та медицини і на 51–53% – від способу життя. Здоровий спосіб життя неможливий без здорового збалансованого харчування. Для повноцінного існування людському організму необхідне харчування, що включає незамінні нутрієнти: чисту воду, оскільки організм людини складається на 65% з рідини; повноцінні білки, жири, що складаються з ненасичених жирних кислот, вуглеводи, у тому числі, харчові волокна, вітаміни, макро- та мікроелементи.

З метою підвищення в тістовому напівфабрикаті вмісту білків, їх біологічної цінності, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, мінеральних речовин, вітамінів вважали за доцільне використати соєву білково-жирову добавку (БЖД ЕСО).

Добавка білково-жирова ЕСО – це продукт переробки сої, її харчова цінність пояснюється спеціальною термічною (інфрачервоною) обробкою, що забезпечує руйнування антипоживних речовин, таких як: інгібітор трипсин, гемаглютини, фітоестрогени, алергени, олігоцукри, сапоніни, фітинова кислота, ліпоксигеназа. Крім того, соєві білки мають здатність поглинати і утримувати жири, сприяють їх емульгуванню і стійкості емульсій. Добавка білково-жирова ЕСО не містить клейковину, що погіршує структурно-механічні характеристики прісного тіста, то потребує застосування поліпшувачих добавок, зокрема карагінану. У дослідженнях використаний карагінан (суміш йота- і капа-карагінану), отриманий з чорноморської червоної водорості, у вигляді світло-кремового порошку з вологістю 9-12% і розміром частинок – від 0,25 до 1 мм.

**Мета досліджень.** Вплив добавок, які вносяться в модельні тістові композиції, в тому числі на основі пшеничного борошна, не обмежується лише збагаченням їх інгредієнтами, що підвищують харчову цінність виробів, застосування цих добавок впливає на біополімери борошна, змінюючи реологічні властивості тіста і якість виробів в цілому.

Структура тіста, що утворюється з борошна різних зернових та зернобобових культур, визначається кількісним і якісним складом основних полімерних сполук (крохмалю, білків, клітковини), наявністю низькомолекулярних, гідро- і олеофільних сполук. Полімери борошняної сировини і вода утворюють основу колоїдної структури тіста та визначається властивостями клейковини, яка представляє собою гідратовані білки гліадин та глютеліну. В процесі утворення тіста вони відіграють головну роль, визначаючи подальші процеси формування тіста. Розробляючи технології борошняних кулінарних виробів з використанням БЖД ЕСО важливо визначити раціональну концентрацію добавки та спосіб її введення у тістовий напівфабрикат.

**Основні матеріали досліджень.** Для визначення раціональної концентрації та обґрунтування технології використання БЖД ЕСО вивчали сенсорні та структурно-механічні властивості тіста залежно від концентрації БЖД ЕСО. БЖД ЕСО додавали у кількості 5; 10; 15; 20; 25; 30% замість борошна пшеничного. Для досліджень використовували борошно вищого сорту. В якості контролю використовували прісне тісто виготовлене за традиційною технологією. Контролем слугували: тістовий напівфабрикат для

вареників та пельменів, борошняні гарніри виготовлені за традиційною рецептурою № 1067,1078 [140]. Вимірювання показників здійснювали через 40 хв після замішування тіста, протягом цього часу, біохімічні та фізико-хімічні процеси, що формують структуру тіста відбуваються з найбільшою швидкістю.

Основні матеріали досліджень. На якість тістового напівфабрикату впливають такі основні показники якості прісного тіста як пластичність, еластичність, пружність, розкочуваність, розпливання кульки та маса клейковини.

За результатами сенсорної оцінки прісного тіста, з БЖД ЕСО, яка проводилася за розробленою шкалою, встановлено, що додавання 10,0% БЖД ЕСО замість пшеничного борошна не значно впливає на сенсорні показники прісного тіста, разом з тим колір тіста стає злегка жовтуватий. При додаванні 15–20,0% БЖД ЕСО у прісному тісті помітна зміна кольору до кремового, з'являється запах та присмак сої, що знижує загальну сенсорну оцінку до 4,2 і 3,8 бала. Збільшення дозування БЖД ЕСО до 30% призводить до появи насичено кремового відтінку прісного тіста. БЖД ЕСО надає прісному тісту у кількості 30% невластивого насиченого запаху сої, розріджену консистенцію, знижуючи сенсорну оцінку до 3,4 і 2,8 бала, відповідно. Отже, на підставі одержаних даних можна зробити висновок, що найбільш високі сенсорні показники має прісне тісто, виготовлене із додаванням БЖД ЕСО у кількості 5–10,0% від маси пшеничного борошна.

Наступний етап проведення досліджень полягав у визначенні впливу БЖД ЕСО на якість та кількість клейковини. Як свідчать результати досліджень, за умови внесення БЖД ЕСО розпливання тістової кульки підвищується на 7-18,9% у порівнянні з контролем, що свідчить про негативний вплив БЖД ЕСО на властивість клейковини, оскільки полісахариди БЖД ЕСО перешкоджають з'єднанню частинок гліадину і глютеніну. Пластичність та розкочуваність тіста теж погіршується при збільшенні концентрації БЖД ЕСО. При введенні 5-10 % БЖД ЕСО показники розкочуваності та пластичності залишаються на рівні контролю.

Маса клейковини при збільшенні вмісту БЖД ЕСО від 5 до 30% зменшується на 8,2, 16,5, 23,5, 32,2, 42,3, 53,1%, оскільки у БЖД ЕСО клейковина не відмивається. Найбільш інтенсивне зниження пружності клейковини спостерігається при введенні 30 % БЖД ЕСО на 22 ум.од. порівняно з контролем. Еластичність клейковини при введенні від 5-10 % БЖД ЕСО залишається міцною і майже не



змінюється; при 15-30% погіршується і є слабкою.

Розтяг клейковини над лінійкою при введенні 5-10 % БЖД ЕСО знаходиться у межах 11-13 см, а у контролі становить 17 см. При додаванні 15- 30 % БЖД ЕСО у дослідних зразках клейковина відмивається у меншій кількості.

За умови внесення БЖД ЕСО розпливання тістової кульки підвищується на 7-19% у порівнянні з контролем, що свідчить про негативний вплив БЖД ЕСО на властивість клейковини. Пластичність та розкочуванність тіста теж погіршується при збільшенні концентрації БЖД ЕСО. Маса клейковини при збільшенні вмісту БЖД ЕСО від 5 до 30% зменшується на 8,2, 16,5, 23,5, 32,2, 42,3, 53,1%. Розтяг клейковини над лінійкою при введенні 5-10 % БЖД ЕСО знаходиться у межах 11-13 см, а у контролі становить 17 см.

Результатами досліджень встановлено, що при збільшенні концентрації БЖД ЕСО понад 10% не утворюється прісне тісто необхідної структури, погіршується його еластичність, пластичність, так як кількість і якість клейковини знижується.

Оскільки при додаванні білково-жирової добавки ЕСО загальний вміст клейковини в сумішах знижується, а якість погіршується, для її покращення необхідно застосувати структуроутворювач – карагінан.

В дослідні зразки тіста додавали карагінан від 0,5 до 3,0% замість борошна пшеничного. Механізм зміцнюючої дії карагінану пов'язаний з наявністю ефірно-зв'язаної сірчаної кислоти (кислий ефір), що надає тістовим модельним харчовим композиціям властивостей аніоно-активних емульгаторів, які, як відомо, можуть зміцнювати клейковину.

За результатами сенсорної оцінки прісного тіста, з БЖД ЕСО та карагінаном, яка проводилася за розробленою шкалою, встановлено, що додавання карагінану від 1,0 до 3,0% замість пшеничного борошна не впливає на сенсорні показники прісного тіста (табл. 1.)

Як свідчать результати досліджень структурно-механічних характеристик (табл. 2,3), за умови внесення карагінану діаметр розпливання тістової кульки знижується у досліді МТК1 на 3,0%, у дослідях МТК2-МТК4 на 5,0%, у дослідях МТК5-МТК6 на 7,0%, у порівнянні з контролем, оскільки під впливом протеолітичних ферментів розрідження тістової кульки гальмується.

Таблиця 1

**Сенсорна оцінка модельних тістових композицій  
з БЖД ЕСО, бали ( $p < 0,05$ )**

Найменування зразків	Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Консистенція	Загальна оцінка
Контроль	4,9±0,22	4,9±0,25	5,0±0,24	5,0±0,25	5,0±0,25
МТК±1	4,9±0,23	4,9±0,22	5,0±0,23	5,0±0,24	5,0±0,24
МТК2	5,0±0,24	5,0±0,21	5,0±0,22	5,0±0,23	5,0±0,25
МТК3	5,0±0,23	5,0±0,24	5,0±0,21	5,0±0,25	5,0±0,24
МТК4	5,0±0,22	5,0±0,25	5,0±0,20	4,9±0,24	5,0±0,23
МТК5	5,0±0,23	5,0±0,24	5,0±0,24	4,9±0,24	5,0±0,25
МТК6	5,0±0,25	5,0±0,23	5,0±0,23	4,9±0,23	5,0±0,24

*Примітка:* Контроль - тісто прісне; МТК 1 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 0,5%; МТК 2 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 1,0%; МТК 3 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 1,5%; МТК 4 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,0%; МТК 5 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,5%; МТК 6 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 3,0%

Таблиця 2

**Показники консистенції модельних тістових композицій  
з БЖД ЕСО, бали**

Найменування зразків	Розкочуваність	Пластичність	Розпливання кульки, мм ( $\pm 1,0$ )	
			Початкова	Через 180 хв
Контроль	Добра	непластичне	42,0	45
МТК1	Відмінна	пластичне	42,0	44
МТК2	Відмінна	пластичне	42,0	43
МТК3	Відмінна	пластичне	42,0	43
МТК4	Відмінна	пластичне	42,0	43
МТК5	Відмінна	пластичне	42,0	42
МТК6	Відмінна	пластичне	42,0	42

*Примітка:* Контроль - тісто прісне; МТК 1 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 0,5%; МТК 2 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 1,0%; МТК 3 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 1,5%; МТК 4 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,0%; МТК 5 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,5%; МТК 6 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 3,0%

При додаванні 0,5-1,0% карагінану спостерігається зниження пружності клейковини на 12,5% та 1% порівняно з контролем. Найбільш інтенсивне підвищення пружності клейковини спостерігається у дослідах МТК3-МТК6 і становить 40 ум.од., 42

ум.од., 44 ум.од., 46 ум.од. відповідно.

Еластичність клейковини при підвищенні концентрації карагінану змінюється. Механізм зміцнюючої дії карагінану пов'язаний з наявністю ефірно-зв'язаної сірчаної кислоти (кислий ефір), що надає тістовим модельним харчовим композиціям властивостей аніоно-активних емульгаторів, які, як відомо, можуть зміцнювати клейковину. У модельних композиціях при додаванні 0,5% карагінану питома розтяжність (МТК1) нижча, ніж у контролі на 8,8%, та зростає при збільшенні концентрації карагінану 1,5;2,0;2,5;3,0% (МТК3-МТК6) на 3,8, 8.1, 11.9, 16.3% відповідно. У модельній композиції (МТК2) питома розтяжність знаходиться на рівні контролю і становить 16 см (табл. 3.)

Таблиця 3

**Пружно-еластичні властивості модельних тістових композицій,**  
( $p < 0,05$ )

Найменування зразків	Пружність клейковини на приладі ІДК-1, ум.од	Еластичність	Маса клейковини, г	Розтяжність (лінійкою), см
Контроль	40±1,72	Міцна	8,61±0,16	16,0±0,39
МТК1	35±1,68	Міцна	8,55±0,18	15,3±0,43
МТК2	39±1,71	Міцна	8,55±0,19	16,0±0,47
МТК3	40±1,99	Міцна	8,55±0,22	16,6±0,47
МТК4	42±2,02	Міцна	8,55±0,24	17,3±0,46
МТК5	44±2,04	Міцна	8,55±0,25	17,9±0,47
МТК6	46±2,12	Міцна	8,55±0,31	18,6±0,46

*Примітка:* Контроль - тісто прісне; МТК 1 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 0,5%; МТК 2 - БЖД ЕСО10% та карагінан 1,0%; МТК 3 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 1,5%; МТК 4 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,0%; МТК 5 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 2,5%; МТК 6 - БЖД ЕСО 10% та карагінан 3,0%

У модельних композиціях при додаванні 0,5% карагінану питома розтяжність нижча, ніж у контролі на 8,8%, та зростає при збільшенні концентрації карагінану 1,5; 2,0; 2,5; 3,0% на 3,8, 8.1, 11.9, 16.3% відповідно. Пластичність та розкочувальність тіста не погіршується при збільшенні концентрації карагінану від 0,5 до 3,0%.

**Висновки:** Визначено раціональне співвідношення компонентів у функціональній композиції – 11% (БЖД ЕСО–10%, карагінан – 1%). При дослідженні хімічного складу прісного тіста на основі функціональних композицій встановлено, що вміст білка у ньому зріс на 26,3%; ліпідів – на 97,1%; вуглеводів: у т.ч. моно- та

дисахаридів – на 66,8%, харчових волокон – на 22,0%, разом з тим зменшився вміст крохмалю – на 10,3%, збільшився загальний вміст мінеральних речовин (золи) на 21% у порівняно з контролем.

### Список літератури

1. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія /А.А.Мазаракі, М.І.Пересічний, М.Ф.Кравченко, Д.В.Федорова та ін.; за ред. М.І. Пересічного. –2-ге вид., переробл. і доп. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – 1116 с.

2. Смоляр В.І. Еволюція європейського харчування // Проблеми харчування. – 2004. - №1. С. – 15-21.

3. Пицца и пищевые добавки: Роль БАД в профилактике заболеваний/ Пер. с англ. Под ред. Дж.. Ренсли, Дж. Донелли, Н. Рида. – М.: Мир, 2004. – 312с.

4. Демічковська М.П. Реологічні характеристики тістового напівфабрикату на основі функціональних композицій / М.П. Демічковська, М.Ф. Кравченко // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства та торгівлі : зб. наук. пр. / Харків. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Вип. 1 (15). – Х., 2012.– С. 55–61

5. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. / Авт.-сост.: А.И.Здобнов, В.А.Цыганенко, М.И.Пересичный.- К.; А.С.К., 1998 – 656с

6. Справочник по гидроколлоидам / Г.О. Филлипс, П.А Вильямс (ред.): Пер. с англ. / По ред. А.А. Кочетковой и Л.А. Сарафановой. — СПб.: Гиорд, 2006. —536 с.

7. Demichkovska M. Technology of flour food products with dietary supplements/ M.Demichkovska, M.Kravchenko // Contemporary trends in the hotel industry and international tourism.– Poznan, 2013. – P.55-60

8. Зайцева Е.В. Соя как пищевой и лечебный продукт // Пищ. пром-сть. – 2005. – №2. – С. 70.

### Аннотация

#### КАЧЕСТВО КЛЕЙКОВИНЫ ТЕСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ МУЧНЫХ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*В статье исследовано качество клейковины тестового полуфабриката для мучных кулинарных изделий из пресного теста. Проанализировано влияние белково-жировой добавки и карагинана на такие показатели теста как пластичность, эластичность, упругость, раскатывание, расплывание теста, масса клейковины и*

*определены их оптимальные соотношения в тестовом полуфабрикате.*

## **Abstract**

### **QUALITY OF GLUTEN OF TEST SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR FLOUR CULINARY PRODUCTS**

*The article investigated the quality of the gluten of the semi-finished dough for flour culinary products from unleavened dough. The influence of protein-fat additives and caraginan on such test parameters as plasticity, elasticity, firmness, rolling, spreading of the test, gluten mass is analyzed and their optimal ratios in the test semi-finished product are determined.*

**УДК 664.66.022.39**

### **ВИКОРИСТАННЯ ПРЯНОСМАКОВИХ РОСЛИН ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ХЛІБА ПШЕНИЧНОГО**

**Костецька К.В., к.с.-г.н, доц.,**

*(Уманський національний університет садівництва)*

**Ковтун-Водяницька С.М., к.біол.н., н. с. відділу культ. флори**

*(Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України)*

*Проведено дослідження можливості застосування малопоширених пряносмакових рослин під час виготовлення хліба пшеничного. За визначеними фізико-хімічними, органолептичними показниками хліба підтверджено можливість виготовлення хліба з додаванням рослин*

**Ключові слова:** *пряносмакові рослини, борошно пшеничне, нові рецептури, хлібні вироби*

**Вступ.** Пряносмакові, ароматичні, ефіроносні рослини багаті ефірними ароматичними оліями, вітамінами, мінеральними речовинами, що надають продуктам фітонцидних, профілактичних, лікувальних, функціональних властивостей, покращують смак їжі, підвищують засвоєння [1–3]. Сприятливе співвідношення вмісту компонентів хімічного складу хлібних виробів дає можливість виробляти нові види функціональних продуктів [4–6].

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Фітодобавки доцільно використовувати при розробці хлібобулочних виробів спеціального призначення: збагачених, дієтичних, лікувально-профілактичних, дитячого харчування, з імуномодуючими, антиоксидантними, радіопротекторними,

тонізуючими і іншими фізіологічними властивостями [1, 2].

Оскільки даних щодо застосування таких рослин українського походження під час виготовлення хліба недостатньо, актуальним є поглиблення та розширення досліджень із метою наукового обґрунтування шляхів і способів раціонального їхнього використання, вивчення потенційних можливостей пряно-смакових рослин як сировини, розроблення оптимальних технологічних режимів вистоювання та випікання хліба нових рецептур; розширення асортименту хлібних виробів. Сприятливе співвідношення вмісту компонентів хімічного складу останніх дасть можливість виробляти нові види функціональних продуктів.

Отже, питання розробки нових видів продуктів харчування шляхом удосконалення існуючих рецептур залишається актуальним і потребує негайного вирішення шляхом проведення додаткових досліджень.

**Мета та завдання дослідження.** Проведені дослідження ставили за мету визначити технологічну придатність зерна пшениці сорту Смуглянка для виробництва борошна і хліба та застосування малопоширених ефіроносних, технічних, пряно-смакових та овочевих рослин для виготовлення хліба. Це дозволить розширити асортимент хлібобулочних виробів.

Для досягнення поставленої мети вирішували завдання:

- дослідити технологічні показники борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка;
- визначити фізико-хімічні, органолептичні показники хліба;
- встановити оптимально можливе рецептурне дозування рослинних компонентів під час виготовлення хліба нових рецептур.

**Матеріали та методи дослідження.** Зерно пшениці ярої м'якої сорту Смуглянка, що використовували в дослідженні, вирощене на дослідному полі фермерського господарства "Боднюк" в с. Гранів Гайсинського району Вінницької області.

Для випікання хліба використовували рослини: пікнантемум тонколистий (*Pycnanthemum trifolium* L.), лобода квіноя (*Chenopodium quinoa* L.), монарда двійчаста (*Monarda didyma* L.), агастахіс зморшкуватий (*Agastache rugosa* L.), вітекс коноплеподібний (*Vitex cannabinum* L.), ельшольція Стаунтона (*Elsholtzia Stauntonii* L.), м'ята колоскова Мароканська (*Mentha spicata Moroccan* L.).

Рослини вирощені в північній частині Правобережного Лісостепу України на полях лабораторії медичної ботаніки Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України.

Більш детально матеріали та методи дослідження якості

борошна та хліба нових рецептур та фізико-хімічні, органолептичні показники описано в роботі [1].

**Результати досліджень показників якості борошна і хліба.** Органолептичні та хлібопекарські показники борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Показники якості борошна пшеничного**

Показник	Допустима норма (ДСТУ ISO 46.004-99)* [7]	Фактична якість	Висновок
Колір	Білий або білий з різними відтінками	білий	відповідає
Запах	властивий пшеничному борошну, без сторонніх запахів, не затхлий, не плісневий	властивий пшеничному борошну, без сторонніх запахів, не затхлий, не плісневий	відповідає
Смак	властивий пшеничному борошну, без сторонніх присмаків, не кислий, не гіркий	смак властивий пшеничному борошну, без сторонніх присмаків, не кислий, не гіркий	відповідає
Вологість, %, не більше	15	11,0	відповідає
Кількість сирової клейковини, %	не менше ніж 24,0/25,0/21,0	26,0	вищий сорт
Якість клейковини	група	I–II/I–II/I–II	відповідає
	одиниць приладу ИДК	45–100	
Білість, ум. од. приладу	не менше 54/36–53/12–35	58	вищий сорт
Кислотність, град.	не більше 3,0/3,5/4,5	2,2	вищий сорт
Число падання, с, не менше	160	442	відповідає

Примітка. \* – до риски – вищий сорт; після риски – 1-й/2-й сорти

За оцінкою борошна з зерна пшениці (на прикладі борошна

вищого сорту) у порівнянні зі стандартами, встановлено відповідність органолептичних властивостей (колір, запах, смак) нормам [7] для борошна вищого сорту. Досліджуване борошно має запах та смак властивий борошну з пшениці, без сторонніх запахів і присмаків. При розжовуванні борошна не відчувається хрускіт.

З табл. 1 видно, що зерно пшениці сорту Смуглянка стабільно має високі хлібопекарські властивості.

Так, вміст клейковини в борошні з зерна пшениці сорту Смуглянка відповідає вмісту клейковини борошна вищого сорту і становить 26%, що на 2% більше нижньої межі стандарту.

Покази приладу ИДК за якістю клейковини борошна з зерна пшениці вказаного сорту (82 од.) відповідають II-й групі якості та характеризується як задовільна слабка клейковина.

Встановлено, що число падання для борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка – 442 с, що майже в 3 рази більше встановлених вимог.

В зразку борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка значення кислотності відповідає борошну вищого сорту (2,2°).

Враховуючи покази приладу Скиб-М (58 ум. од.) борошно, що вивчали, віднесли до вищого сорту.

Отже, борошно з зерна пшениці сорту Смуглянка за всіма показниками якості входить в допустимі норми та відповідає оптимальному рівню для одержання високоякісного хліба.

Відмічено добру водопоглинальну здатність борошна, тісто швидко замішувалось (2 хв.), в добрій консистенції знаходилось біля 1 хв., після чого активно зріджувалось.

Для приготування порошку рослин використовували надземну зелену частину рослин, що висушували, подрібнювали в лабораторному млині до крупності  $10^{-4}$ – $10^{-1}$  мм та перемішували для взяття рецептурної наважки. Для приготування ж борошна квіної використовували насіння зернової культури лободи квіної, яке подрібнювали в лабораторному млинку до розміру частинок 30–40 мкм та перемішували для взяття рецептурної наважки.

За органолептичними показниками хліб із борошна пшеничного (контроль) відповідає встановленим вимогам: поверхня – гладка, без великих тріщин і підривів; м'якушка – еластична, швидко відновлює початкову форму, пропечена, не волога на дотик, не липка, з розвиненою рівномірною пористістю, без затвердіння; забарвлення м'якушки – біле; смак і запах – властиві даному найменуванню хліба, без стороннього смаку і запаху.

Хліб нових рецептур, за якістю дещо відрізнявся від контрольних зразків: забарвлення м'якушки – світло і темно жовте,



коричневе, зеленкувате; смак і запах – властиві доданим рослинам.

Порошок рослин містив антоціанові пігменти та мав яскраво виражений колір. Встановлено доцільність внесення в пшеничне тісто до 5% порошку рослин монарди двійчастої; до 10% повітряно-сухої сировини пікнантемума тонколистого та до 10% борошна з зерна лободи квіної. Такий хліб мав рівномірно забарвлену (світло-жовту, зеленкувату, темно-коричневу) скоринку без підривів і тріщин, еластичну м'якушку, тонкостінну пористість, виражений хлібний смак і приємний аромат добавок.

Результати фізико-хімічного аналізу хліба з борошна, що отримали з зерна пшениці сорту Смуглянка різних рецептур наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Фізико-хімічні показники якості хліба з борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка (контроль) та нових рецептур**

Хліб із борошна пшеничного (зерно сорту Смуглянка)	Маса, г	Вологість, %	Кислотність м'якушки, град.	Пористість, %	
Контроль	32,6	45,3	2,0	66,3	
Агастахіс зморшкуватий	5%	33,7	45,6	2,6	66,2
	10%	33,2	45,9	2,9	66,1
	15%	33,2	46,0	3,0	66,0
Пікнантемум тонколистий	5%	34,1	46,2	2,7	66,3
	10%	33,7	46,8	2,7	66,1
	15%	33,4	48,3	3,4	66,0
М'ята колоскова Мароканська	5%	33,7	47,5	2,9	60,0
	10%	33,1	48,0	3,8	56,2
	15%	32,2	49,9	3,9	56,2
Ельшольція Стаунтона	5%	33,7	46,6	2,8	65,2
	10%	33,3	47,0	3,9	64,3
	15%	33,2	48,1	3,9	64,2
Монарда двійчаста	5%	33,6	45,6	2,6	66,2
	10%	33,5	45,8	2,9	64,7
	15%	33,1	45,9	3,0	59,5
Вітек коноплеподібний	5%	33,9	45,9	2,4	62,9
	10%	33,7	46,8	2,7	59,2
	15%	33,7	47,2	2,9	59,1
Лобода квіноя	5%	34,9	45,6	2,2	70,3
	10%	34,0	45,8	2,3	69,9
	15%	33,7	45,9	2,6	69,7
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>1,69</i>	<i>2,34</i>	<i>0,15</i>	<i>3,28</i>	

Хліб з борошна з зерна пшениці сорту Смуглянка (контроль) та з додаванням до 5% борошна з зерна лободи квіної оцінено на відмінно (4,8 і 4,6 бали). Тоді як, на добре (4,0–4,2 бали) – хліб з додаванням до 5% монарди двійчастої, до 10% порошку повітряно-сухої сировини пікнантемума тонколистого та 10% борошна з зерна лободи квіної. Для решти зразків визначено задовільну загальну хлібопекарську оцінку (3,0–3,7 бали).

Отримані дані свідчать про те, що використання добавок інтенсифікує процес бродіння тіста. Очевидно, це пояснюється внесенням в борошняні напівфабрикати з рослинами цукрів, макро-, мікроелементів, органічних кислот. Ці речовини є живильним середовищем, беруть участь у біосинтезі складових компонентів клітинного обміну і виконують різноманітні функції в метаболізмі дріжджових клітин.

В нових зразках хліба в м'якушці були видні часточки збагачуючої добавки, присутність яких при приготуванні тіста, очевидно, негативно відзначалось на будові та властивостях клейковинного каркасу тіста. В досліджуваних зразках визначено підвищення кислотності на 9–49% у порівнянні з контрольними зразками.

**Висновки.** Таким чином, використання в хлібопекарському виробництві рослин є перспективним. Отриманні дані дають змогу рекомендувати виробникам використовувати ефіроносні, технічні, пряно-смакові та овочеві рослин під час виготовлення хліба. Доцільно вносити рослинні добавки в пшеничне тісто у дозуванні не більше 5% до маси борошна порошку рослин монарди двійчастої; до 10% пікнантемума тонколистого та лободи квіної. Саме за таких дозувань за органолептичними показниками якості хліб оцінено на відмінно (4,6 бали) та добре (4,0–4,2 бали).

### Список літератури

1. Osokina, N., Kostetska, K., Gerasymchuk, H., Voziian, V., Telezhenko, L., Priss, O. et. al. Development of recipes and estimation of raw material for production of wheat bread. *EUREKA: Life Sciences*. 4, 26–34. doi: 10.21303/2504-5695.2017.00381
2. Osokina, N., Kostetska, K., Gerasymchuk, O., Voziian, V., Telezhenko, L., Priss O., et. al. Substantiation of the use of spice plants for enrichment of wheat bread. *Eastern-European Journal of Enterprise*

*Technologies*. 2017. Vol. 4, Issue 11 (88). P. 16–22. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108900>

3. ДСТУ 3768:2010. Зерно. Пшениця. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 14 с.

4. Подпратов, Г. І., Рожко, В. І., Скалецька, Л. Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва. Київ: Аграрна освіта, 2014. 393 с.

5. Жемела, Г. П., Шемавньов, В. І., Олексик, О. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Полтава, 2003. 420 с.

6. Kostetska, K. V., Yevchuk, Y. V. Physical and mechanical properties and quality indicator of wheat. *Carpathian journal of food science and technology*. 2016. № 8 (2). P. 187–192.

7. ДСТУ ISO 46.004–99. Боршно пшеничне. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 17 с.

#### **Аннотація**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЯНОВКУСОВЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБА ПШЕНИЧНОГО**

*Проведено дослідження можливості застосування рідких пряновкусових рослин при виготовленні хліба пшеничного. По визначених фізико-хімічних, органолептичних показателях хліба підтверджено можливість виготовлення хліба з додаванням рослин*

**Ключевые слова:** *пряновкусовые растения, мука пшеничная, новые рецептуры, хлебные изделия*

#### **Abstract**

### **USE OF SPICE PLANTS FOR THE WHEAT BREAD ENRICHMENT**

*The possibility of using low-spreading herbaceous plants in the production of wheat bread has been investigated. According to certain physicochemical, organoleptic characteristics of bread, the possibility of making bread with the addition of plants was confirmed*

**Key words:** *spice plants, wheat flour, new formulations, bread products*

**ІТ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЯ  
АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА.  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ STEAM-ОСВІТИ**

**Богомолів О.В., д.т.н., проф., Бредихін В.В., к.т.н., доц.,  
Мітяшкіна Т.Ю., к.п.н., доц., Міленін А.М., к.т.н., доц.,  
Лук'янов І.М., к.т.н., доц.**

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*У статті розглянуті актуальні проблеми впровадження новітніх іт-технологій і роботизованої техніки в агропромислове виробництво. Наведено огляд аспектів викладання та підготовки висококваліфікованих фахівців з STEAM – проектування.*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку суспільства виникає багато питань, пов'язаних з ефективною організацією виробництва України і виведення його на конкурентоспроможній рівень. Доводиться вирішувати складні, багатогранні завдання, націлені на отримання максимальної ефективності бізнесу. При вирішенні таких завдань і в результаті прагнення до оволодіння технологічною перевагою перед конкурентами, гостро стає питання про автоматизацію виробничих процесів, застосування нових технологій у промисловості. Одним з найпродуктивніших рішень в цій галузі є застосування промислових роботів [1]. Грамотна побудова виробничого процесу, заміна ручної праці автоматизованими комплексами, здатними здійснювати виробничі завдання без участі людини більш швидко, точно і якісно, - ключ до економічної і виробничої ефективності промисловості України. Також робототехніка - це драйвер економічного зростання, інструмент підвищення якості життя людей, можливість відповіді на соціальні виклики, такі як старіння населення. Україні важливо не упустити цю нову хвилю технологій та їх практичного застосування, як це сталося з споживчою електронікою, щоб ми незабаром не закуповували роботів також, як закуповуємо смартфони і комп'ютери та інше з Китаю. З поширенням штучного інтелекту і з розвитком роботизації очікується зникнення 60–70% професій. Досвід попередніх етапів автоматизації показує, що коли машина замінює собою одне робоче місце, то натомість з'являється не одне нове робоче місце, а кілька. Готувати кадри для цих галузей - завдання

непросте. Роботи сьогодні абсолютно нова галузь досліджень, в яку «поринули» університети.

З огляду на те, що в умовах сучасного світу (України також) люди вже не можуть здобути освіту [2] раз і назавжди, а мусять постійно вчитися. Університети також повинні розширити спектр своїх послуг і надавати їх людям протягом усього їхнього життя.

**Аналіз основних досліджень.** У сільському господарстві вже в минулому столітті проявилася чітка тенденція до механізації та автоматизації виробництва і різкого скорочення зайнятості в цій сфері. Сьогодні цей процес триває. Впровадження біотехнологій, поступове перетворення сільського господарства та промисловості в різновид індустріального виробництва забезпечують можливість витіснення людини і з цієї сфери.

Величезна кількість виробництв по всьому світу прийшли до того, що без застосування промислових роботів неможливо було досягти тих результатів [6], які були отримані після впровадження подібних систем. Роботизація процесів виробництва - це абсолютно новий рівень технологічності підприємств. Роботизація та автоматизація - один з найпопулярніших трендів в сучасній промисловості. З 2009 по 2017 рік обсяги продажів промислових роботів в світі виросли в 6,3 рази. Пов'язано це в основному зі зниженням вартості процесорів та інших компонентів обчислювальної техніки, які підтримують сучасні мови програмування. Вони насичені стандартними підпрограмами та мають інтуїтивно зрозумілий інтерфейс керування.

STEAM – освіта та навчання з'єднує у собі міждисциплінарний і проектний підхід, основою для якого стає інтеграція природничих наук у технології, інженерну творчість і математичну, механічні розрахунки [6]. Це комплексний, систематизований, інтеграційний комплекс, який заснований на застосуванні міждисциплінарного й прикладного підходу.

**Основні матеріали дослідження.** Роботизація є частиною комплексної автоматизації виробництва, її основною складовою. На практиці цей процес полягає в застосуванні роботів і роботизованих систем на підприємствах в промисловому масштабі. Автоматичні лінії можна оснастити промисловими роботами, наявність яких позитивно відобразиться на функціонуванні всього комплексу обладнання переробної та харчової промисловості. Також такі механізми можуть бути включені в гнучкі автоматизовані виробництва при якому функції управління і контролю, що раніше

виконувалися людиною, передаються приладам і автоматичним пристроям. Рівень спеціалістів, які працюють в агросфері та у промисловості, не завжди дозволяє впроваджувати інноваційні рішення. Щоб змінити стан речей необхідні кардинальні зміни в освіті та науці, методологічних основах цих процесів.

Модернізація вітчизняних підприємств промисловості, впровадження новітніх технологій і входження України у світове співтовариство потребують кваліфікованих фахівців з вищою освітою [3]. Ключовою фігурою сучасного виробництва стає висококваліфікований спеціаліст, без якого підприємство працювати не може. Тому питання роботизації переробної та харчової промисловості повинно включати у собі і питання підготовки такого спеціаліста з робототехніки та основ її програмування в університетах. Де студенти повинні отримувати не тільки необхідні знання для ведення технологічних процесів одержання харчових продуктів, проектування (конструювання) технологічної апаратури харчових виробництв, дослідження, випробування, монтажу, устаткування та обслуговування апаратів переробної та харчової промисловості. Також майбутні фахівці повинні проектувати та розробляти сучасні технології переробної та харчової промисловості з використанням найновіших інформаційно-програмних засобів. Студенти повинні володіти та вміти використовувати фундаментальні знання з комп'ютерних технологій, моделюванню складних комп'ютерних систем, їх оптимізації, проектуванню сучасних комп'ютерних комплексів та мереж, розробляти їх програмне забезпечення, системи штучного інтелекту та робототехнічні системи.

Інженери з робототехніки отримують найбільш різносторонні та глибокі знання, уміння та навички в ІТ-технологіях. Роботизація вимагатиме від педагога навичок «чотирьох К», без яких складно уявити фахівця майбутнього: комунікації, креативності, критичного мислення та колаборації (співпраці з одним чи більше людей, або зі штучним інтелектом). Майбутнє, вірогідно, за “гібридними” техноло-гіями, які поєднують у собі найсильніші здатності живого організму *homo sapiens* та потужність машин і програм).

Окремою проблемою роботизації стає розуміння майбутнім інженером особливостей роботи окремих елементів виробничих або технологічних ліній, виділення критеріїв контролю підтримання їх безаварійної працездатності, способів та засобів вимірювання цих критеріїв. Інженер повинен вміти вибирати допустимі інтервали

варіювання тих чи інших критеріїв та засобів для їх вимірювання, тобто орієнтуватися на ринку різноманітних датчиків, з метою організації ефективних зворотних зв'язків (відгуків) на програмний комплекс, вміти оптимізувати їх кількість за вимогами замовника та реалізовувати все вище перераховане на контролерах або комп'ютерах.

Сьогодні першість в рішенні означених задач безумовно належить STEAM – проектуванню, яке об'єднує елементи робототехніки, інженерної графіки, 3D моделювання, дизайну (як інженерного мистецтва), програмування (зокрема об'єктно-орієнтованого), електроніки, математичні та механічні розрахунки тощо. STEAM навчання складається із шести етапів: постановка проблеми - питання (завдання), обговорення, дизайну проєкта, будови, тестування й розвитку. Ці етапи і є основою систематичного проєктного підходу, який застосовують наші студенти [4]. У свою чергу, співіснування або об'єднане використання різних можливостей цієї системи є основою креативності й інновацій у техніці. Таким чином, одночасне вивчення й застосування науки й технології, творчості та дизайну може створити безліч нових інноваційних проєктів.

Сьогодні все частіше використовуються роботи, відповідно, росте попит на роботу техніків і STEAM - освіту для студентів. Зокрема, у найстарішому технічному вузі Німеччини - Брауншвейгському технічному університеті - робототехніка входить в обов'язкову програму для всіх студентів, але залежно від факультету акцент робиться на тих або інших її аспектах. Інженерний факультет одного із кращих економічних вузів Німеччини - Вищої школи Хайльбронна (Hochschule Heilbronn) [7] - пропонує для усіх бажаючих курс за назвою "Механотроніка та робототехніка". У першу чергу їм цікавляться майбутні інженери, але відвідувати заняття можуть і студенти інших спеціальностей. Курс уведений у програму насамперед для того, щоб молоді фахівці могли правильно поєднувати у своїй роботі знання з таких дисциплін, як механіка, електроніка, інформатика (програмування), техніка виміру й сенсорна техніка, обробка зображень, приводна техніка, технології керування, а також технології позиціонування, дизайн машин, кінематика й динаміка роботів, індустриальна робототехніка, мобільна робототехніка, керування, взаємодія «людина-робот» і комп'ютерний зір.

Наступний етап роботи зі студентами [4] – це створення

робота-машини. Такі роботи можуть робити рух по запрограмованим доріжкам, відрізках, траєкторіях геометричних форм, при цьому роблячи певні дії. У курсі основ STEAM за умови реалізації міжпредметних зв'язків стає можливим вивчення наступних розділів: середовища керування роботами Microsoft Robotics Studio, середовища з конкретними робото технічними конструкторами, наприклад Lego Mindstorms; вміння маніпулювати як віртуальними, так і реальними об'єктами, задіяючи різні канали сприйняття (вивчення сенсорів) і 3D моделюванні для поліпшення конструкції робота [5].



Рис. 1. Lego – модель стрічкового конвеєра з роботом, який сортирує цукерки за кольором, беручі їх зі стрічки

Сьогодні студент [5], а завтра спеціаліст переробної та харчової промисловості за допомогою роботизації, як головного орієнтира в роботі цієї галузі розвине перехід від пропозиції і виробництва окремих машин до розробки і випуску комплексів машин, агрегатів і поточкових ліній, які комплексно вирішують питання використання сільськогосподарської сировини, скорочення втрат при її переробці, зберіганні та доставці продукції до споживача. Також студенти повинні мати можливість та навички створювати мобільні додатки, розробляти роботів, проектувати віртуальну реальність, вивчаючи основи програмування, роботу з соцмережами. Технічні вміння виходять за межі компетенцій вузьких спеціалістів вріваючись до повсякденного життя.





Рис. 2. Студенти на кафедрі ОПХВ збирають Lego - модель маніпулятора на базі універсального керуючого процесора

**Висновки.** Таким чином, технічний прогрес у переробної та харчової промисловості направлений також на перехід до розробки комплексно-механізованих і автоматизованих підприємств, а також заводів-автоматів, оснащених обладнанням з високою одиничною потужністю і програмним управлінням. Впровадження в переробній та харчовій промисловості маніпуляторів, машин і обладнання, що управляється з допомогою мікропроцесорної техніки, стало вже буденністю. Фактично роботизація технічних процесів – це автоматизація на новому, вищому рівні, що ще раз підтверджує гвинтоподібний шлях розвитку будь-яких процесів. На наш погляд, вже не за горами створення та промислове використання штучного інтелекту.

### Список літератури

1. Бринолфссон Э., МакАфи Э. Второй век машин: работа, прогресс и процветание во времена высоких технологий. [Электронный ресурс]. URL: [https://hub.kyivstar.ua/wp-content/uploads/2015/04/KSBD\\_23\\_5.pdf](https://hub.kyivstar.ua/wp-content/uploads/2015/04/KSBD_23_5.pdf) (дата обращения 02.08.2017г.).

2. Молчановський О. Освіта як захист від штучного інтелекту // <https://zbruc.eu/node/88224> (дата обращения 18.11.2019 г.).

3. Мітяшкіна Т. Ю. Інтерактивне навчання у сфері нарисної геометрії, інженерної і комп'ютерної графіки // Теорія та методика навчання та виховання. - 2012. - Вип. 32. - С. 107-115. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkhnpu\\_ttmniv\\_2012\\_32\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkhnpu_ttmniv_2012_32_14).

4. Мітяшкіна Т. Ю. Аспекти інтеграції знань з креслення на заняттях з комп'ютерної графіки // - 2013. с.152-158 [Електронний ресурс]. [https://www.google.com.ua/search?client=opera&q=irbis-nbuv.gov.ua%20irbis\\_nbuv%20cgitirbis\\_64%20Nzkr\\_2013\\_33\\_21.&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8..](https://www.google.com.ua/search?client=opera&q=irbis-nbuv.gov.ua%20irbis_nbuv%20cgitirbis_64%20Nzkr_2013_33_21.&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8..)

5. Мітяшкіна Т.Ю., Гребньова І.В., Кісь В.М. Графічна підготовка студентів та її спекти у ВНЗ України // Materials of XIII international research and practice conference Scientific horizons – 2017. Sheffield, England, p.15-18. [Електронний ресурс].<https://www.google.com.ua/search?client=opera&q=enpuir.npu.edu.ua%20bitstream%20Комогорова&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF->

6. Ігор Старенький. Що таке STEAM-освіта і чому вона така популярна [Електронний ресурс]. <https://life.pravda.com.ua/columns/2019/03/26/236224/>

7. Специалисты нарасхват: где изучают робототехнику в Германии? М. Шайкенова [Электронный ресурс]. <https://www.dw.com/ru/https://p.dw.com/p/1D8mH>.

## **IT-ТЕХНОЛОГИИ И РОБОТИЗАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ STEAM-ОБРАЗОВНИЯ**

*В статье рассмотрены актуальные проблемы внедрения новейших it-технологий и роботизированной техники в агропромышленное производство. Приведен обзор аспектов преподавания и подготовки высококвалифицированных специалистов по STEAM - проектирование.*

## **IT-TECHNOLOGIES AND ROBOTIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION. STEAM EDUCATION PROBLEMS AND PROSPECTS**

*The article deals with the actual problems of introduction of the latest it-technologies and robotic technology in agro-industrial production. An overview of the teaching and training aspects of highly qualified STEAM design professionals is given.*

## ЗМІСТ

Богомолов О.В., Завгородній О.І., Ольшанський В.П., Богомолов О.О.	
<b>ДО ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ ЗА СУКУПНІСЮ ПРУЖНИХ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ</b>	<b>5</b>
Ольшанський В.П., Бурлака В.В., Сліпченко М.В., Спольнік О.І.	
<b>ВІЛЬНІ ЗАТУХАЮЧІ КОЛИВАННЯ ОСЦИЛЯТОРА ДУФФІНГА, СПРИЧИНЕНІ КВАДРАТИЧНИМ ОПОРОМ</b>	<b>12</b>
Ольшанський В.П., Бурлака В.В., Сліпченко М.В.	
<b>ВІЛЬНІ ЗАТУХАЮЧІ КОЛИВАННЯ ОСЦИЛЯТОРА З КОМБІНОВАНИМ ОПОРОМ</b>	<b>22</b>
Ольшанський В.П., Бурлака В.В., Сліпченко М.В.	
<b>ДИНАМІКА НЕЛІНІЙНО-ПРУЖНОГО ОСЦИЛЯТОРА З СУХИМ ТЕРТЯМ</b>	<b>33</b>
Спольнік А.И., Гайдусь А.Ю., Калиберда Л.М.	
<b>ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПУТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ МАТЕРИАЛА</b>	<b>45</b>
Бредихін В.В., Коваленко С.М., Денисенко С.А., Чалий І.В.	
<b>ДОЦЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕКТРОННА КОМЕРЦІЯ ТА ДЕРЖАВНІ ЗАКУПІВЛІ» ПРИ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ-МАГІСТРІВ НАВЧАЛЬНО- НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ ПЕРЕРОБНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ</b>	<b>52</b>
Богомолов О.В., Кісь В.М., Лук'янов І.М., Акіншин В.В., Довженко Д.І., Шуліка Д.Ю., Новіков С.С., Богомолов О.О.	
<b>ДО РОЗРОБКИ АЛГОРИТМУ АНАЛІЗУ ТА СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ</b>	<b>60</b>
Богомолов А.В., Іркиєнко В.И.	
<b>К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ</b>	<b>68</b>
Богомолов О.В., Брагінець М.В., Мозгунов А.Р., Науменко Е.М., Санін М.Ю., Манчич В.В., Богомолов О.О., Богомолова В.П.	
<b>УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО СЕПАРАТОРА</b>	<b>75</b>
Богомолов О.В., Гурський П.В., Іващенко С.Г., Токолов Ю.І.	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА ТИСК ПРЕСУВАННЯ МАКАРОННОГО ТІСТА</b>	<b>80</b>
Кашеев Л.Б., Коваленко С.В., Коваленко С.М., Мегель Ю.Є., Путятін В.П., Чалий І.В.	
<b>ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ УПАКОВКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, ЗАСНОВАНИЙ НА НЕЧІТКОМУ ЛОГІЧНОМУ ВИВЕДЕННІ</b>	<b>87</b>

Любич В.В. <b>КРУП'ЯНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ</b>	<b>94</b>
Любич В.В., Железна В.В., Улянич І.Ф. <b>ВПЛИВ ЗВОЛОЖУВАННЯ ТА ВІДВОЛОЖУВАННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ НА ВИХІД БОРОШНА</b>	<b>101</b>
Любич В.В., Новіков В.В., Лещенко І.А. <b>ВИХІД ЦІЛОЇ КРУПИ ІЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЛУЩЕННЯ І ВОДОТЕПЛОВОГО ОБРОБЛЕННЯ</b>	<b>108</b>
Сичов А.І., Сичова Т.О. <b>РОЗРАХУНКИ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ НА МІЦНІСТЬ З УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ</b>	<b>114</b>
Гудь В.З. <b>ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕЛЕСКОПІЧНИХ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ</b>	<b>119</b>
Шаніна О.М., Гавриш Т.В., Галясний І.В. <b>ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ БІЛКОВОЇ ДОБАВКИ НА КОНФОРМАЦІЙНИЙ СТАН БІЛКІВ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ТІСТА</b>	<b>125</b>
Шаніна О.М., Боровікова Н.О., Гавриш Т.В., Дугіна К.В., Фейзопуло О.Е. <b>ВПЛИВ ДОБАВОК БІЛКОВОЇ ТА ПОЛІСАХАРИДНОЇ ПРИРОДИ НА ВОЛОГОУТРИМУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ БЕЗКЛЕЙКОВИННОГО ТІСТА</b>	<b>132</b>
Шаніна О.М., Мінченко С.М. <b>ГАЗОУТВОРЮВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ТІСТА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ПАРОВОГО ХЛІБА</b>	<b>141</b>
Пузік Л.М. <b>ПИВОВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА РІЗНИХ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ</b>	<b>148</b>
Гурський П.В., Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Кондрашина Л.А. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОДИ В СИРНІЙ МАСІ МЕТОДОМ ЯДЕРНО-МАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ</b>	<b>154</b>
Фоміна І.М., Ізмайлова О.О., Маліков К.С., Плечко В.А. <b>РОЗШИРЕННЯ АСОРИМЕНТУ ПШЕНИЧНИХ ЗЕРНОВИХ ПЛАСТИВЦІВ ПІДВИЩЕНОЇ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ</b>	<b>162</b>
Машкін М.І., Денисенко С.А., Токолов Ю.І. <b>АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА М'ЯКИХ СИРІВ З ВІДНОВЛЕНОГО МОЛОКА</b>	<b>171</b>

Дейниченко Г.В., Золотухіна І.В., Кравченко Т. В. <b>ВИЗНАЧЕННЯ БАРИЧНИХ РЕЖИМІВ ОТРИМАННЯ УЛЬРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ КОНЦЕНТРАТІВ БІЛКОВО- ВУГЛЕВОДНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ</b>	176
Дейниченко Г.В., Кравченко Т.В., Дейниченко Л.Г. <b>ТЕХНОЛОГІИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ МЯГКОГО МОРОЖЕНОГО НА ОСНОВЕ ЛАКТОЗОСОДЕРЖАЩЕГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ</b>	182
Юдіна Т.І., Безрученко О.М., Кравченко Т.В. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАТУ СКОЛОТИН НА ЯКІСТЬ БЕЗГЛУТЕНОВИХ КЕКСІВ</b>	189
Кравченко М.Ф., Михайлик В.С., Марусяк Т.М., <b>ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ ШРОТІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ПІСОЧНОГО ПЕЧИВА</b>	195
Медведева А.О., Антоноук І.Ю. <b>ТЕХНОЛОГІЯ ЗАМОРОЖЕНИХ ДЕСЕРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОТЕХНОЛОГІЙ</b>	200
Перепелиця М.П. <b>ЯКІСТЬ КЛЕЙКОВИНИ ТІСТОВОГО НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ БОРОШНЯНИХ КУЛІНАРНИХ ВИРОБІВ</b>	206
Костецька К.В., Ковтун-Водяницька С.М. <b>ВИКОРИСТАННЯ ПРЯНОСМАКОВИХ РОСЛИН ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ХЛІБА ПШЕНИЧНОГО</b>	213
Богомолів О.В., Бредихін В.В., Мітяшкіна Т.Ю., Міленін А.М., Лук'янов І.М. <b>ІТ-ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ STEAM-ОСВІТИ</b>	220



**Наукове видання**

**ВІСНИК  
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Випуск 207**

**"Сучасні напрямки технології та механізації процесів  
переробних і харчових виробництв"**

Вісник включений у перелік фахових  
видань ВАК України

Відповідальний за випуск: Заїка В.П.

Підписано для друку 31.10.2019 р.  
Формат 60x84 1/16.  
Папір офсетний. Друк офсетний.  
Умов.друк.арк. 13,25. Ум.вид.арк. 13.

Тираж: 100 прим.  
Замовлення №

ХНТУСГ, 61002, м. Харків-2, вул. Алчевських 44.

Надруковано у ТОВ «ПЛАНЕТА-ПРИНТ»  
61002, м. Харків, вул. Багалія, 16  
ЄДРПОУ 31235131 від 19.12.2000 р.

