



**OPTIMIZATION OF DISPERSED SYSTEMS IN PRODUCTION  
AGGREGATE USING A NEURAL NETWORK  
ОПТИМІЗАЦІЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ В ВИРОБНИЧОМУ СКЛАДІ ЗА  
ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖІ NEURAL**

**Piddubnyi V.A. // Піддубний В.А.**

*Corresponding member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine /*

*член-кореспондент Національної академії аграрних наук України*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>

*State research institution "Ukrainian research*

*institute of alcohol and food biotechnology*

*Державна науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут*

*спирту та біотехнології харчових продуктів», Київ, Україна*

**Kovalenko I. S. // Коваленко І.С.**

ORCID: 0009-0009-3100-5592

**Kravcheniuk H. U. // Кравченко Х.Ю.**

*s.t.s., / к.т.н.,*

*.ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7547-6834>*

**Stadnyk I.Y. / Стадник І.Я.**

*d. t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4126-3256

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil 46001, Hohol str. 6,*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,*

*м.Тернопіль 46001, вул. Гоголя 6*

**Анотація.** Хлібопекарська галузь України за останній час стикається із достатніми серйозними економічними, технологічними та технічними проблемами. Виникнення проблем пов'язано зі зниженням якості основної сировини для виготовлення хлібобулочних виробів та із значною енергоємністю, нераціональними організаційними процесами у виробництві. Відповідно мета роботи спрямована на підвищення ефективності управління змішуванням тіста на агрегаті нової конструкції з використанням нейронної мережі для нівелювання коливань властивостей пшеничного борошна та просяного борошна.

Ці проблеми вирішується в структурно-механічних характеристиках тіста під впливом конструктивних параметрів обладнання та режимів процесу, очевидно в комплексі з урахуванням емпіричних даних, теоретичних положень і результатів фізичних експериментів. Крім того, виправлено основну проблему змішування сипких компонентів із-за введення додаткової рослинної сировини, за розробленими технологіями, вдосконаленням конструкції систем забезпечення роботи тістомісильної машини.

**Ключові слова:** агрегат, технологічне обладнання, нейронна мережа, змішування, тісто.

### **Вступ.**

У різних галузях харчової промисловості однієї з основних стадій технології є процес змішування дисперсних матеріалів. Сьогодні в промисловості найбільш розповсюдженою системою змішування суміші існує заміс тіста в тістомісильних машинах неперервної та періодичної дії [1]. В даних машинах в основному використовуються лопатеві, шнекові та гвинтові робочі органи різної конструкції. Дані машини встановлені в систему комплексного приготування тіста у вигляді тістоготувальних агрегатів.

Сучасні хлібозаводи мають відчутну проблему отримання якісного хліба. Однією із головних є наслідок постійної зміни властивостей основної сировини



- борошна та допоміжних рецептурних компонентів: дріжджів, концентрату молочно-кислої закваски, різних рецептурних розчинів [2]. Тому технологи для підвищення якості процесу замісу тіста, використовують різноманітні програми управління тістомісильними машинами. Багаторічний досвід роботи досліджень науковців як у теоретичному, так і в практичному плані дозволив розробити цілі класи обладнання для змішування матеріалів [1, 3, 4].

Ряд таких тістомісильних машин, які входять в системний комплекс (агрегат) розроблено фірмою Діосна, науковцями НУХТ, ТНТУ за участю авторів [2,4,5,6] за рахунок організації хаотично - спрямованого структурного руху матеріальних потоків. Існує технічно розроблене рішення змішування компонентів за технологією «Rapidojet» від фірми «Diosna», виробленої доктором Бернхардом Ноллем, що має відкриту циліндричну робочу камеру над якою встановлено живильник подачі борошна, насос-дозатор з соплами для подачі рідких компонентів, а нижня частина являє собою розвантажувальний пристрій для вивантаження змішаної суміші [3]. До недоліків такої системи замішування слід віднести нераціональну конструкцію насоса-дозатора з соплами для подачі рідких компонентів, складність регулювання розпилення компонентів із-за утвореної швидкої струминки, зачистки сопел по периметру камери та використання тільки для пшеничного змішування без можливості регулювання дозуючої суміші з додаванням рослинного походження. Автори [6,7] розробили тангенціальну розпилюючу насадку і встановили на шляху витікання струменя компонентів із сопла на віддалі

$$L = 5.41P^{0.18} d^{0.87} \alpha^{0.03} \text{ від початку витікання.}$$

де: P- робочий тиск, МПа

d -діаметр сопла на виході, мм

$\alpha$  - кут нахилу сопла, град

Це дало можливість привести у відповідність силу опору струменя і регулювання розпилення компонентів

Враховуючи недоліки системи при замішуванні, сьогодні компанія «Diosna» розробила нові технології безперервного процесу на основі системи Continomixx. Такий підхід забезпечує високу ефективність та стабільність якості тіста (рис. 1). При всіх її перевагах відносно повної автоматизації існують ряд недоліків. Особливо до якості основної сировини та можливості дозування рецептурних компонентів у малих відсотках.

На нашу думку основний недолік в розглянутих тістомісильних машинах і агрегатах для приготування тіста полягає в досить інтенсивному силовому впливу на компоненти тіста. Внаслідок чого у ряді випадків не вдається отримати кінцевий продукт заданої якості. Відцентрові сили, діють на частинки компонентів, мають односпрямовану дію. Крім цього відсутня можливість проводити додаткове дозування іншої сировини, спрямованої на надання виробам якісніших органолептичних властивостей.

На основі проведеного аналізу автори відзначили [1,4], що у разі накладання розріджених потоків процес проникнення одного факела частинок в іншій буде загальмований на самому початку зони взаємодії і не пошириться на весь обсяг потоків. Такий рух потоку суміші компонентів з великою швидкістю



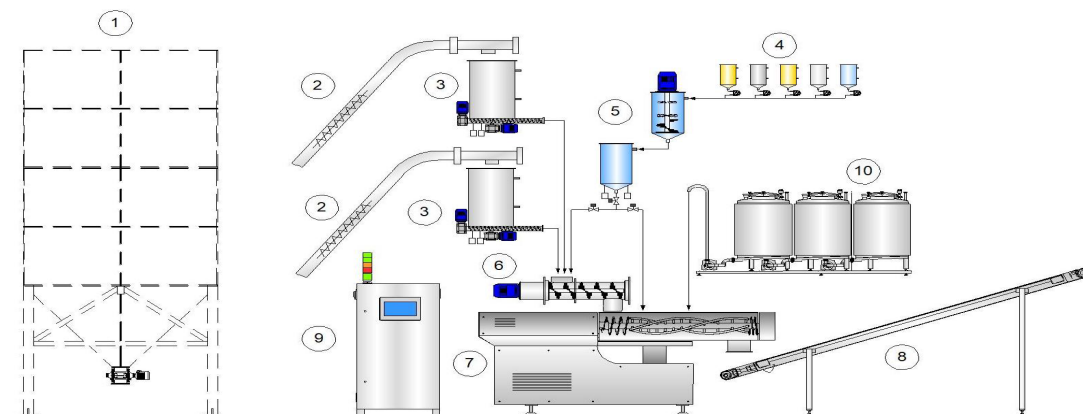
сприяє руйнуванню конгломератів при зіткненні їх із перешкодами та стінками робочого органу і робочої камери.



**Рис.1. Агрегат безперервного приготування тіста Continomixx компанії Diosna:**

*1 – бункери для борошна; 2 – обслуговуюча площа; 3 - тістомісильна машина СРМ; 4 – дозатори системи Brabender; 5 – тістомісильна машина CFM 1.350; 6 – насос Seerex; 7 – вивантажувальний транспортер*

На основі такого аналізу була розроблена нова конструкція тістомісильної машини періодичної дії. Взаємодія компонентів відбувається у зваженому стані, при впливі вібрації та механічної дії великої поверхні робочого органу й багатогранної робочої камери [7,8].



**Рис.2 Технологічно-апаратурна схема агрегату безперервного приготування пшеничного тіста:**

*1 - силос борошна; 2 - гнучкий шнековий живильник; 3 - система гравіметричного дозування борошна і додаткової сировини; 4 – мікродозатори рідких компонентів; 5 – міксер; 6 - преміксер; 7 – тістомісильна машина безперервної дії; 8 – конвейер для бродіння тіста; 9 - блок керування з ПЛК; 10 - CIP мийка*



Досить цікавою є розробка тістомісильної машини безперервної дії у складі тістоготувального агрегату, винахідника і інженера - конструктора Коваленка І.С. Ним враховано наукові розробки та проведені дослідження процесу замішування тіста в комплексних системах існуючих та нових агрегатів. Передбачено встановлення додаткового змішувального пристрою 6 (преміксер) для утворення рідинної суміші та можливим дозуванням додаткової сировини, що є позитивним моментом. Схема агрегату подана на рис.2.

В даний час проходять дослідження і налагодження агрегату українською фірмою ТОВ «I2FOODS» при виробництві хлібних снєків. Основою дослідження є встановлення взаємодії усієї системи агрегату для приготування якісного напівфабрикату. В даному випадку це є тісто із суміші основної сировини – пшеничного борошна та додаткової сировини - просяного борошна [8,9].

**Метою цієї роботи** є підвищення ефективності управління замішуванням тіста для нівелювання коливань властивостей пшеничного борошна, просяного борошна та комплексного формування якості хліба. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступне:

- 1) проведення аналізу партій борошна з визначенням їх кластерної структури із встановленням залежностей між кластерами та програмами змішування компонентів;
- 2) удосконалення програм змішування компонентів на основі його реологічних властивостей.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

На агрегаті (рис.2) реалізується однофазний спосіб приготування пшеничного тіста за допомогою попереднього змішування і утворення однорідної суміші рідинної фази в преміксері 6 з подальшим замішуванням в тістомісильній машині 7 безперервної дії. Дозування сипких і рідких компонентів здійснюється за принципом «спаду маси» з місткостей для їх зберігання. Така схема передбачає систему із гнучкого шнека – живильника 2, дозаторів борошна і додаткової сировини 3, набору мікродозаторів рідких компонентів 4 та міксера 5 для утворення однорідної рідинної фази. Це дозволяє робити різного роду комбінації дозування компонентів згідно розробленої рецептури. Принцип роботи за «спадом маси» забезпечується використанням високоточних тензодатчиків для вимірювання ваги компонентів в реальному часі та автоматичного регулювання швидкості їх подачі для підтримання постійного потоку. Преміксер 6 змішує борошно з рідкою фазою при обертах місильного органу 400об/хв. Така частота обертання забезпечує ефективне змішування і утворення однорідної маси, що є основою для утворення клітковинної сітки на слідкуючій стадії замішування тіста. Після змішування в преміксері 6, суміш подається в місильну камеру тістомісильної машини 7 для завершення замішування.

Результати аналізу в подальшому обумовлюють якість готової продукції [1]. Враховуючи те, що під час замішування може змінюватися інтенсивність і тривалість процесу, використано для аналізу кластерний аналіз. Відповідно проведено класифікацію об'єктів дослідження за допомогою численних





обчислювальних процедур в пошуку структур, що виражається в утворенні груп схожих між собою об'єктів – кластерів. Кластеризацією проведено структурні дані, які допомогли встановити те, що не визначено при візуальному обстеженні і за допомогою лабораторних досліджень [11]. Алгоритм автоматичного вибору програми замісу тіста реалізовано за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ) у вигляді математичних моделей. Лабораторні дослідження для порівняння хімічного складу хліба, виготовленого за традиційною рецептурою та хліба з додаванням просяного борошна виконувались на базі Науково-дослідного центру біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК «Bio Safety» ДДАЕУ.

Для аналізу процесу вхідними параметрами нейронної мережі взято показники якості борошна: число падінь, ідк, кількість клейковини. Проведення кластерного аналізу партії борошна за фізико-хімічними показниками здійснено програмним модулем «Zhu&Vor» [11-13]. Реалізація процедури вдосконаленої кластеризації даних проведено на основі методу k-means. Встановлено, що певні параметри замішування тіста були зв'язані із партіями борошна до конкретного кластеру. На базі цих залежностей були структуровані дані методом k-means з автоматичним визначенням кількості кластерів та початкових центрів кластерів рис.3. Таким чином, це дозволило краще зрозуміти відмінності між різними партіями та сприяти прийняттю рішень щодо їх використання.

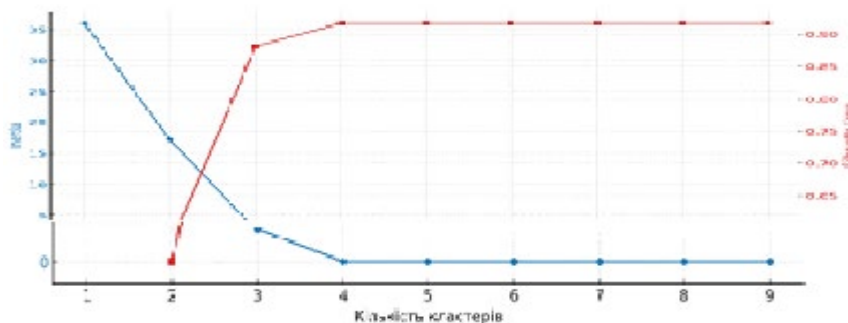


Рис. 3. Кластеризація даних методом k-means

Оптимальна кількість кластерів для даних становить 4. Групування партії борошна за фізико-хімічними показниками наведено в табл.2.

Проведено інтерпретацію результатів, функції активації та зважені суми входів.

Вхідний вектор  $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$  і перший шар має ваги  $W^{(1)}$  і зсуви  $b^{(1)}$ .

Зважена сума входів (нетто-вхід) для нейрону  $j$  у першому шарі обчислюється

$$z_j^{(1)} = \sum_{i=1}^n x_i W_{ij}^{(1)} + b_j^{(1)}$$

як:

де:  $x_i$  - значення  $i$ -го входу,

$W_{ij}^{(1)}$  - вага з'єднання між  $i$ -м входом і  $j$ -м нейроном першого шару,

$b_j^{(1)}$  - зсув для  $j$ -го нейрона першого шару.



Таблиця 2. Групування партії борошна за фізико-хімічними показниками

Партія	Сирої клейковини	Кількість сирої клейковини по ІДК	Число падінь	Вологість	Кластер
1	24	45	409	14.2	1
2	24	45	409	14.2	1
3	24	45	409	14.2	1
4	24	45	409	14.2	1
5	24	45	409	14.2	1
6	24	50	398	14.2	3
7	25	50	398	14.2	0
8	25	50	398	14.2	0
9	25	45	427	14.2	2
10	25	45	427	14.2	2
11	25	45	427	14.2	2
12	25	45	427	14.2	2

Для першого шару використано функцію активації ReLU (Rectified Linear Unit):

$$a_j^{(1)} = \text{ReLU}z_j^{(1)} = \max(0, z_j^{(1)})$$

де:  $z_j^{(1)}$  - вихід  $j$ -го нейрона першого шару після застосування функції активації.

Розрахунки для наступних шарів виконано аналогічно, де вихід попереднього шару стає входом для поточного шару. Для другого шару:

$$z_k^{(2)} = \sum_{j=1}^m a_j^{(1)} W_{kj}^{(2)} + b_k^{(2)}$$

де:  $z_k^{(2)}$  - вихід  $k$ -го нейрона першого шару,

$W_{kj}^{(2)}$  - вага з'єднання між  $j$ -м нейроном першого шару і  $k$ -м нейроном другого шару,

$b_k^{(2)}$  - зсув для  $k$ -го нейрона другого шару.

Функція активації для другого шару (також ReLU):  $z_k^{(2)} = \text{ReLU}z_k^{(2)}$

Для вихідного шару (використовується softmax):

$$z_j^{(3)} = \sum_{k=1}^p a_k^{(2)} W_{kL}^{(3)} + b_L^{(3)}$$

Функція активації для вихідного шару (softmax):

$$a_L^{(3)} = \text{softmax}(z_j^{(3)}) = \frac{e^{z_j^{(3)}}}{\sum_{k=1}^p e^{z_k^{(3)}}}$$



де:  $a_k^{(2)}$  - вихід k-го нейрона другого шару,

$W_{kj}^{(3)}$  - вага з'єднання між k-м нейроном другого шару і j-м нейроном вихідного шару,

$b_L^{(3)}$  - зсув для L-го нейрона вихідного шару,

$a_L^{(3)}$  - вихід L-го нейрона вихідного шару після застосування функції softmax.

На основі даних табл.2 для наочності, розглянуто перший приклад вхідних даних та ваг першого шару після їх визначення. Розрахунок зваженої суми:

$$z_j^{(1)} = 24 W_{1j}^{(1)} + 45 W_{2j}^{(1)} + 409 W_{3j}^{(1)} + 14.2 W_{4j}^{(1)} + b_j^{(1)}$$

Функція активації (ReLU):  $a_j^{(1)} = \max(0, z_j^{(1)})$

Для кожного шару обумовлюємо вибір тієї чи іншої програми залежно від показників якості борошна. Це дозволяє провести автоматичну корекцію параметрів програми замішування тіста. В основі алгоритму реалізації корекції може виступати модель штучної нейронної мережі.

### Висновки.

Проблема отримання не якісного хліба, яка може виникнути в роботі агрегату внаслідок постійної зміни властивостей основної сировини – борошна або допоміжної сировини, можна виявити ще на стадії замішування тіста. Для вирішення проблеми запропоновано проведення аналізу кластерної структури партій борошна по показникам якості. На основі цього отримуємо додаткову інформацію для автоматизації процесу замішування тіста. Реалізація такого підходу вирішується створенням програм для тістомісильної машини із системою дозуючої техніки, при забезпеченні результатів кластерного аналізу.

### Список використаних джерел

[1] Stadnyk I., "Scientific and technical basics of discrete action on mixing components", Monograph. Ternopil, TNTU, 2015, 240 p.

[2] Dolomakin, Y. (2016) "Determination of the main stages of mixing wheat sourdough relative method Journal of food and packaging science, Technique and Technologies. –Year V, No. 9, p.p.49-54

[3]. Stadnyk, I.Ya., Pankiv, Ju., Havrylko, R., & Karyk, H. (2019). Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 13(1), 581-592. doi: 10.5219/1129.

[4]. Stadnyk, I., Pankiv, Y., Vasylyv, V., & Kos, T. (2020). Dynamics of inter-phase interaction of components during mixing. Food Resources, 8(15), 174-184.

[5]. Pidubny V. A., Pankiv Yu. V., Stadnyk I. Ya., Petrychenko E. A. (2019) "Integrated solutions and hardware design of transient processes of mixing components in a pseudo-layer". *Food production equipment and technology*. ISSN 2079-4827. p.p. 82-90

[6]. Lisovenko O., and Stadnyk I, "Dough kneading machines of continuous and



periodic action”, *Storage and processing of grain*, vol. 2, pp. 51–52, 2008.

[7]. Lisovenko O, Stadnyk I, and Lisovenko I, “Dough mixer,” U.A. Patent 25269, Sep. 10, 2007

[8]. Анісімова Л.В. Перспективи використання сумішей із пшеничного та просяного борошна в хлібопеченні. / Л.В. Анісімова, А.А. Белікова // Ползуновский вістник-2012- №2/2 С167-177.

[9] Т.Є. Лебеденко, Г.Ф. Пшенишнюк. Технологія хлібопекарського виробництва - ОНАХТ, О.,2009. – С. 50-55.

[10]. Drobot V, “Technological calculations in baking production”, *Condor*, 2010, 440 p

[11] О.М. Жигайло, В.В. Борис. Кластерний аналіз даних в автоматизованих системах простежуваності // Автоматизація технологічних та бізнес-процесів. –О.,2018. – Том 10, №1 – С. 39-46.

[12]. Кластерний аналіз. URL: [https://pidruchniki.com/11800912/ekonomika/klasterniy\\_analiz](https://pidruchniki.com/11800912/ekonomika/klasterniy_analiz) (дата звернення: 13.08.2024).

[13] Штучні нейронні мережі. URL: <http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0060.pdf> (дата звернення: 13.08.2024).

**Abstract.** *The bakery industry of Ukraine has recently been facing quite serious economic, technological and technical problems. The emergence of problems is associated with a decrease in the quality of the main raw materials for the production of bakery products and with significant energy consumption, irrational organizational processes in production. Accordingly, the purpose of the work is aimed at increasing the efficiency of dough kneading control on a new design unit using a neural network to level out fluctuations in the properties of wheat flour and millet flour.*

*Therefore, this problem is changed by the structural and mechanical characteristics of the dough under the influence of the design parameters of the equipment and process modes, obviously in a complex, taking into account empirical data, the theoretical position and the results of physical experiments. In addition, the main problem of mixing components with the introduction of additional plant raw materials with the developed technologies and designs of systems for ensuring the operation of the dough kneading machine has been implemented.*

**Keywords:** *aggregate, technological equipment, neural network, mixing.*