



- [10.] Qasrawi, R., Vicuna Polo, S., Al-Halawa, D.A., Hallaq, S. and Abdeen, Z., 2022. Schoolchildren'depression and anxiety risk factors assessment and prediction: Machine learning techniques performance analysis.
- [11.] Rahman, J.U., Makhdoom, F. and Lu, D., 2023. ASU-CNN: An Efficient Deep Architecture for Image Classification and Feature Visualizations. arXiv preprint arXiv:2305.19146.
- [12.] Shijie, J., Peiyi, J. and Siping, H., 2017, October. Automatic detection of tomato diseases and pests based on leaf images. In 2017 Chinese automation congress (CAC) (pp. 2537-2510). IEEE.
- [13.] Sholihati, R.A., Sulistijono, I.A., Risnumawan, A. and Kusumawati, E., 2020, September. Potato leaf disease classification using deep learning approach. In 2020 international electronics symposium (IES) (pp. 392-397). IEEE.
- [14.] Suresh, K., Khanal, U., Wilson, C., Managi, S., Quayle, A. and Santhirakumar, S., 2021. An economic analysis of agricultural adaptation to climate change impacts in Sri Lanka: An endogenous switching regression analysis. Land Use Policy, 109, p.105601.
- [15.] Tiwari, D., Ashish, M., Gangwar, N., Sharma, A., Patel, S. and Bhardwaj, S., 2020, May. Potato leaf diseases detection using deep learning. In 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS) (pp. 461-466). IEEE.
- [16.] Wijekoon, J.L., Nawinna, D., Gamage, E., Samarawickrama, Y., Miriyagalla, R., Rathnaweera, D. and Liyanage, L., 2022. An Intelligent System for Crop Disease Identification and Dispersion Forecasting in Sri Lanka. In Computer Vision and Machine Learning in Agriculture, Volume 2 (pp. 187-205). Singapore: Springer Singapore.
- Отримана в редакції 19.10.2023. Прийнята до друку 20.12.2023. Received 19 October 2023. Approved 20 December 2024. Available in Internet 10 April 2024

УДК 681.5/664.653.122

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТІСТА

Жигайло О.М.¹, Топор М.М.²

^{1,2} Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

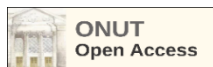
ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0001-6986-4673>, ²<https://orcid.org/0000-0002-0779-1816>

E-mail: ¹dr_jam2006@ukr.net, ²uicklv@gmail.com

Copyright © 2024 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v16i1.2769

Анотація: Предметом вивчення є процес замісу тіста для хлібобулочних виробів з використанням тістомісу періодичної дії. Метою є розробка алгоритму оцінки структурно-механічних показників тіста під час замісу. Завдання: дослідити методи визначення якісних показників тіста та борошна; розробити альтернативний метод отримання структурно-механічних показників тіста під час замісу; провести експерименти на різних партіях борошна; розробити алгоритм для розрахунку сили борошна на основі отриманих структурно-механічних показників тіста. Методи: теорія автоматичного керування, методи розрахунку структурно-механічних показників тіста по фаринограмі, вимірювальні методи, статистичні методи. Результати: досліджено існуючі методи визначення структурно-механічних показників. Запропоновано метод визначення структурно-механічних показників якості тіста під час замісу, що полягає в встановленні вимірювального перетворювача активної потужності трифазного струму за допомогою якого реєструється активна потужність споживана електроприводом місильного органу тістомісильної машини. Зареєстрована крива опосередковано відображає показники тіста, які описує фаринограма. Сплановано та проведено експерименти на хлібобулочному підприємстві по реєстрації активної потужності двигуна місильного органу тістомісильної машини. Розроблено web-додаток який приймає зареєстровані дані під час замісу та розраховує силу борошна з графічним відображенням всіх структурно-механічних показників. Висновки: запропонований метод визначення структурно-механічних показників якості тіста під час його замісу та розроблений web-додаток, який визначає



силу борошна, створює можливості розробки алгоритму автоматизованого управління процесом замісу з метою підвищення якості кінцевого продукту.

Abstract: The subject is the process of kneading dough for bakery products using a batch kneading machine. The goal is to develop an algorithm for evaluating the structural and mechanical parameters of the dough during kneading. Tasks: to investigate the methods of determining the quality indicators of dough and flour; to develop an alternative method of obtaining structural and mechanical parameters of the dough during kneading; conduct experiments on different batches of flour; to develop an algorithm for calculating the strength of flour based on the obtained structural and mechanical parameters of the dough. Methods: the theory of automatic control, methods of calculating the structural and mechanical parameters of the dough according to the farinogram, measurement methods, statistical methods. Results: Existing methods for determining structural and mechanical parameters are investigated. A method for determining the structural and mechanical indicators of dough quality during kneading is proposed, which consists in installing a measuring converter of active power of three-phase current, which records the active power consumed by the electric drive of the kneading body of a dough mixing machine. The recorded curve indirectly reflects the characteristics of the dough described by the pharynogram. Experiments were planned and conducted at a bakery enterprise to register the active power of the engine of the kneading organ of the dough kneading machine. A web application was developed that accepts the recorded data during kneading and calculates the strength of flour with a graphical display of all structural and mechanical parameters. Conclusions: the proposed method for determining the structural and mechanical quality indicators of dough during its kneading and the developed web application that determines the strength of flour create opportunities for developing an algorithm for automated control of the kneading process in order to improve the quality of the final product.

Ключові слова: сила борошна, заміс тіста, якість тіста, структурно-механічні показники, автоматизація, фаринограма.

Key words: flour strength, dough kneading, dough quality, structural and mechanical indicators, automation, farinogram.

Вступ

Підвищення якості продукції є однією з найголовніших задач на підприємстві. Цього можна досягти на різних етапах виробництва. На хлібобулочному підприємстві велику роль відіграє борошно з гарними показниками якості, як сировина, сировина з правильними якісними показниками та процес замісу тіста з якого потім формується продукція та відправляється на вистоювання та випічку.

Борошно – основна сировина для виготовлення тіста. Від нього залежить якість хліба. Хлібопекарські властивості борошна характеризуються сукупністю таких показників: силою борошна; автолітичною активністю, тобто здатністю до розщеплення високомолекулярних складових під дією власних ферментів борошна і накопичення водорозчинних речовин; газоутворюючою здатністю; крупністю частинок борошна [1].

Сила борошна – це показник, який описує реологічні властивості борошна і визначає якість кінцевого продукту. Сильним вважається те борошно, яке здатне поглинати при замісі тіста відносно велику кількість води. Тісто з сильного борошна зберігає та повільніше досягає оптимальних властивостей, потребує більш довгого кінцевого вистоювання. Тісто з слабого борошна при замісі поглинає меншу кількість води. Структурно-механічні властивості тіста з такого борошна в процесі замісу та бродіння швидко погіршуються. Середнє борошно найбільш оптимальне для випічки. Клейковина слабкіша ніж у сильного борошна, газотримуюча здатність нижче, що дає можливість тісту краще піднятися при вистоюванні і отримати більший вихід хлібу [1].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

При отриманні сировини на виробництво її досліджують з використанням тривіальних методів, аналізуючи якісні показники, яких дуже велика кількість і людина не може дати адекватну оцінку.

Дослідження якості партій борошна може відбуватися за допомогою кластерного аналізу. Його сутність полягає у здійсненні класифікації об'єктів дослідження за допомогою численних обчислювальних процедур. На відміну від інших методів, цей вид аналізу дає можливість класифікувати об'єкти не за однією ознакою, а за декількома одночасно. Для цього вводяться відповідні показники, що характеризують певну міру близькості за всіма класифікаційними параметрами. Мета кластерного аналізу полягає в пошуку наявних структур, що виражається в утворенні груп схожих між собою об'єктів – кластерів. Це означає, що методи кластеризації необхідні для виявлення в даних такої структури, яку нелегко знайти при візуальному обстеженні або за допомогою експертів.

Було проведено кластерний аналіз партій борошна за фізико-хімічними показниками, які описують його якість. Його метою стає розбиття вибірки партій (об'єктів) на кластери (групи) зі схожими показниками. Для цього було обрано програмний модуль «Zhu&Vog» [2]. Він реалізує процедуру вдосконаленої кластеризації даних на основі методу k-means, а його відмінною рисою стали алгоритми автоматичного розрахунку кількості кластерів та визначення положень початкових центрів кластерів (центроїди).

При прийомі партій борошна на підприємство в лабораторних умовах досліджують такі якісні показники: кількість клейковини, якість клейковини, число падіння. Для проведення кластерного аналізу, протягом року, збирались результати лабораторних аналізів партій борошна.



Кл. 6				Кл. 5				Кл. 7				Кл. 4			
Инф	Кол-во сыр. клейк. %	Кач-во сыр. клейк., ИДК, у.е.	Число падения, с	Инф	Кол-во сыр. клейк. %	Кач-во сыр. клейк., ИДК, у.е.	Число падения, с	Инф	Кол-во сыр. клейк. %	Кач-во сыр. клейк., ИДК, у.е.	Число падения, с	Инф	Кол-во сыр. клейк. %	Кач-во сыр. клейк., ИДК, у.е.	Число падения, с
1	24	45	402	6	24	50	390	31	27	65	354	33	24	60	373
2	24	45	409	18	25	50	378	32	27	65	391	34	24	60	369
3	24	45	402	19	25	50	363	37	27	60	421	35	24	60	373
4	24	50	413	20	25	50	363	40	27	60	441	36	24	60	369
5	24	45	410	21	25	50	373	45	27	65	415	38	24	60	374
7	25	50	449	22	25	50	373	49	28	65	457	39	24	60	374
8	25	50	449	23	24	50	364	50	28	65	426	41	24	55	373

Рис. 1- Фрагмент результатів кластеризації у табличному вигляді**Fig. 1 – Fragment of clustering results in tabular form**

Дослідження результатів замісу при різних програмах, що використовуються на підприємстві, підтвердили вплив показників якості борошна на вибір програми замісу та обумовили доцільність вибору програми на основі результатів кластерного аналізу [3]. Тобто певні програми замісу тіста були зв'язані з партіями борошна, що належали до якогось конкретного кластеру.

По отриманим результатам кластеризації можна провести процедуру «ранжування». Ранжування - є процедурою упорядкування об'єктів, виконуваною особою, яка приймає рішення, або експертом. На основі знань і досвіду особа, яка приймає рішення, чи експерт у своєму розпорядженні об'єкти в порядку переваги, керуючись одним або декількома вибраними показниками порівняння. Залежно від виду відносин між об'єктами можливі різні варіанти упорядкування об'єктів. Після ранжування кластерів та побудови графіків можна спостерігати як змінюється якісний склад продукції на проміжку часу. Незалежно від кількості кластерів досить чітко простежуються відрізки часу в ході яких надходить борошно з певними характеристиками. Якщо при цьому спостерігати як змінюється кількість виробленого з цього борошна хліба (а це кількість визначається за заявками клієнтів), то можливо буде помітна якась кореляція. Ранжування підтверджує зміни якісних показників борошна. Ця інформація вказує на те, що нам потрібно врахувати її при розробці та налаштуванні системи управління процесом. Додатково ми хочемо отримувати інформацію про якісні показники тіста під час замісу, за допомогою яких можна розрахувати силу борошна, що надає додаткові можливості для покращення якості кінцевого продукту.

Існують дві групи методів визначення сили борошна: 1) за структурно-механічними властивостями тіста; 2) за вмістом та якістю клейковини. Сила борошна визначена за допомогою методів першої групи має більш інтегральні ознаки тому більш об'єктивна. Методи другої групи дозволяють оцінити в основному стан нерозчинної водою білкової фракції.

Методи першої групи:

Визначення розливу кульки. З тіста формують кульку 100г та спостерігають за зміною її діаметра під час відлежування при певних умовах.

Визначення з використанням приладів. До таких приладів відносяться фаринограф, міксограф, екстенсограф.

Принцип дії фаринографа та міксографа схожий, вони вимірюють опір який чинить тісто місильним лопатям. Опір тіста прямо пропорційний силі борошна та кількості води, витраченої на заміс. Чим сильніше борошно, тим більша його водопоглинальна здатність і консистенція тіста в одиницях приладу. Екстенсограф призначений для вимірювання опору розтягуючим зусиллям. Прилад застосовується в поєднанні з фаринографом, який використовують для первинного замісу тіста.

**Рис. 2 – Прилади для визначення сили борошна: 1 – фаринограф; 2 – екстенсограф****Fig. 2 – Devices for determining the strength of flour: 1 – farinograph; 2 – extensograph**

Методи другої групи:

Визначення за бонітаційним числом. Метод полягає в оцінці кількості сухої та якості сирової клейковини.

Визначення структурно-механічних властивостей клейковини на приладах. Визначення відбувається за



допомогою різноманітних приладів, які чинять механічний вплив на клейковину.

Методів визначення сили борошна безліч вище приведено декілька прикладів. Усі дослідження проводяться в лабораторних умовах та займають певну кількість часу, при отриманні підприємством нових партій борошна знову проводять досліди для визначення якості борошна. В залежності від показників борошна технологи обирають різну програму замісу. В залежності від програми замісу може змінюватись швидкість (інтенсивність) і тривалість [1].

Тому є актуальним знайти спосіб отримання структурно-механічних показників тіста (сили борошна) під час замісу, що зменшить час, який витрачають в лабораторії, а також дозволить слідкувати за якістю тіста під час замісу та вносити корективи в програму. Таким чином тісто матиме максимальну якість.

Мета і завдання дослідження

Метою є розробка алгоритму оцінки структурно-механічних показників тіста під час замісу.

Завдання:

1. Дослідити методи визначення якісних показників тіста та борошна
2. Розробити альтернативний метод отримання структурно-механічних показників тіста під час замісу.
3. Провести експерименти на різних партіях борошна.
4. Розробити алгоритм для розрахунку сили борошна на основі отриманих структурно-механічних показників тіста.

Матеріали і методи

Крива яку викреслює фаринограф називається фаринограмою (рис.2). Вона відображає такі властивості тіста: 1) консистенція (а); 2) час утворення тіста (b); 3) еластичність і розтяжність (с); 4) стабільність (d) 5) розрідження (e). Чим сильніше борошно, тим більші значення **b**, **d** і тим менші значення **e** та **c**.

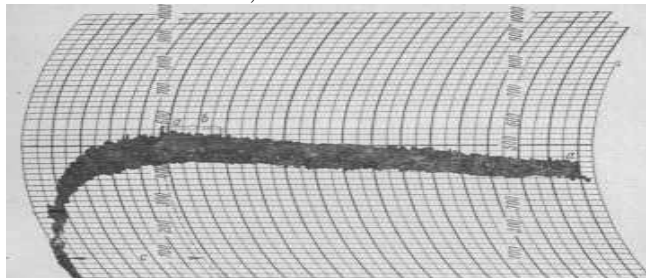


Рис. 3 – Фаринограма

Fig. 3 - Farinogram

Консистенція – в перший період вона росте, досягає заданого значення – 500 одиниць приладу, деякий час утримується на цьому рівні, потім починає поступово падати, тим самим вказує на втрату тістом пружності – його розрідження.

Час утворення тіста – час за який тісто досягає заданої консистенції (для сильного борошна він більший).

Еластичність і розтяжність – амплітуда коливань пера самописця із яких складається фаринограма (у слабого борошна дане значення ширше).

Стабільність – горизонтальна частина фаринограми після виходу на максимум і до початку спаду за значення 500 одиниць (у сильної борошна дане значення найбільше).

Розрідження – відповідає значенню різниці між максимальним значенням та кінцевим (чим більше дане значення тим борошно слабше) [4].

Було висунуто ідею визначення сили борошна під час замісу. Для отримання структурно-механічних показників запропоновано встановлення вимірювального перетворювача активної потужності (рис.3) трифазного струму за допомогою якого реєструється активна потужність споживана електроприводом місильного органу тістомісильної машини. Він призначений для лінійного перетворення активної потужності трьох ланцюгів змінного струму в уніфікований вихідний сигнал постійного струму з діапазоном вимірювання: 0-1 (0-0,5) або 0-5 (0-2,5). Отриманий сигнал подається на двоканальний вимірювач-регулятор ОВЕН ТРМ202 (рис.4) з RS-485, що застосовується для його реєстрації та запису у цифровому вигляді. Зареєстрована крива опосередковано відображає показники тіста, які описує фаринограма.



Рис. 4 – 1 – Перетворювач активної потужності; 2 – Двоканальний вимірювач регулятор
Fig. 4 – 1 – Active power converter; 2- two-channel meter regulator

**Результати дослідження**

Було сплановано та проведено дослідження по реєстрації активної потужності споживаної електроприводом місильного органу. Було взято два зразки борошна вищого гатунку від різних постачальників (таблиця 1).

Таблиця 1 - Показники якості зразків борошна

Виробник	Кількість клейковини	Якість клейковини	Число падіння	Вологість	Білизна
Вінниця (в.с.)	25	60	494	14,5	60
Хмельницьк (в.с.)	25	55	465	14,5	57

Після завершення дослідження в програмному продукті «Owen Report Viewer» можна переглянути отримані криві та за необхідності експортувати дані в *xls*-формат для подальшої обробки. На рисунках 5 та 6 представлено оброблені результати проведеного дослідження.

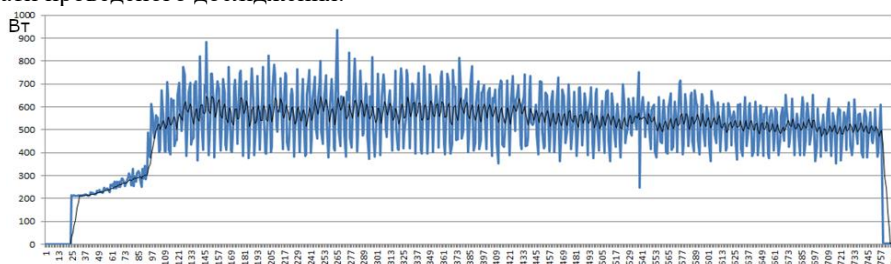


Рис. 5 – Активна потужність двигуна під час замісу для борошна №1
Fig. 5 – Active engine power during kneading for flour #1

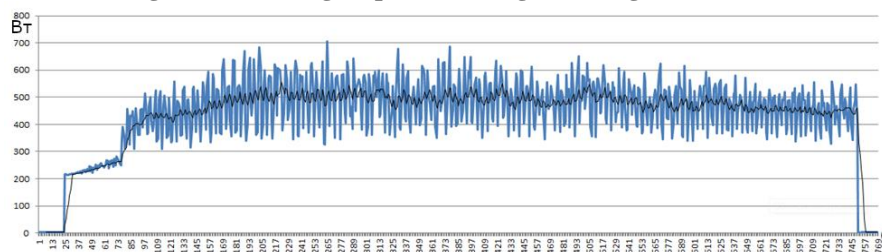


Рис. 6 – Активна потужність двигуна під час замісу для борошна № 2
Fig. 6 – Active engine power during kneading for flour #2

Обговорення результатів

Для виявлення структурно-механічних показників тіста по отриманим результатам необхідно використати рекомендації для фаринограм. Нижче представлені дані (таблиця 2), які використовуються для знаходження сили борошна опираючись на такі показники: стабільність – тривалість збереження тістом максимальної консистенції; розрідження тіста – зменшення консистенції в кінцевий момент замісу порівняно з максимальною консистенцією; валориметрична оцінка – площа до початку розрідження тіста.

Таблиця 2 - Структурно-механічні властивості тіста за даними фаринографа

№	Показники фаринограми	Од. вимірювання	Хлібопекарські властивості борошна (сила борошна)				
			відмінні	хороші	середні	задовільні	низькі
1	Стабільність (d)	сек	≥420	414-330	324-240	234-150	< 150
2	Розрідження (e)	од. фар.	70	70-100	100-130	130-150	>150
3	Валориметрична оцінка	од. приладу	100-70	70-60	60-50	50-40	40-20

Наступним кроком було розроблено web – додаток автоматичного розрахунку структурно – механічних показників тіста та визначення сили борошна.

Створений програмний продукт приймає дані *xls*-формату. Будується графік отриманих даних та розраховуються основні параметри якості тіста та сила борошна (рис.7, рис.8).

Алгоритм роботи web – додатку:

1. Зчитування даних з завантаженого *xls*-файлу.
2. Згладжування даних методом ковзного середнього (за необхідністю).
3. Розрахунок параметру b (час утворення тіста).
4. Розрахунок параметру d (стабільність).
5. Розрахунок параметру c (еластичність і розтяжність).
6. Розрахунок параметру e (розрідження).
7. Відображення отриманих даних.

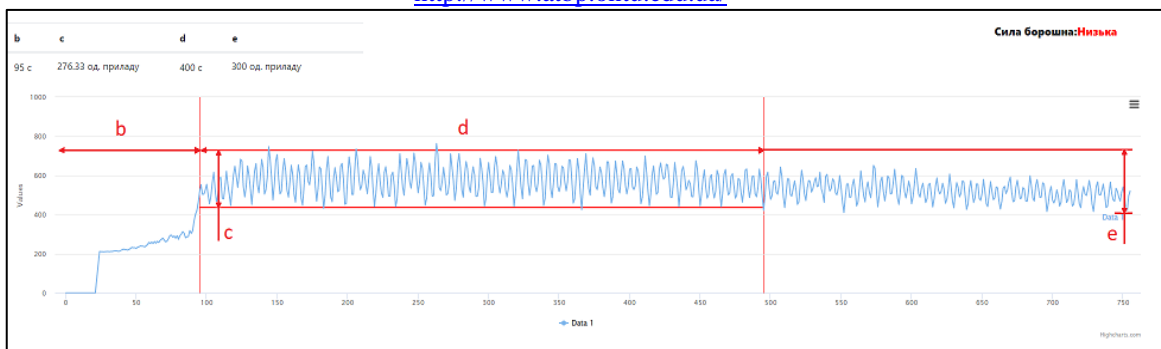


Рис. 7 – Результати оцінки параметрів якості тіста з борошна №1
Fig. 7 – Results of evaluation of quality parameters of flour dough #1

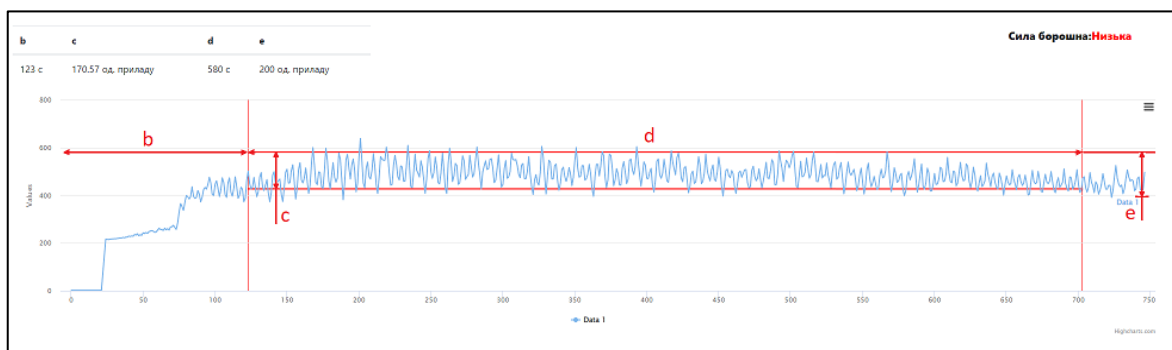


Рис. 8 – Результати оцінки параметрів якості тіста з борошна №2
Fig. 8 – Results of evaluation of quality parameters of flour dough #2

Висновки

Було проведено кластерний аналіз партій борошна за фізико-хімічними показниками, які описують його якість, та отримано залежності варіантів вибору програм замісу тіста від кластерів.

Сплановано та проведено експерименти на хлібобулочному підприємстві по реєстрації активної потужності двигуна місильного органу тістомісильної машини. Тісто №1 має такі структурно-механічні показники: час утворення тіста – 95сек, еластичність і розтяжність – 276 од. пр., стабільність – 400сек, розрідження 300сек. Тісто №2: час утворення тіста – 123сек, еластичність і розтяжність – 170 од. пр., стабільність – 580сек, розрідження 200сек.

Опираючись на рекомендації для розрахунку сили борошна по структурно-механічним показникам тіста бачимо, що обидва борошна мають середню силу. Але борошно №2 сильніше. Запропонований метод визначення структурно-механічних показників якості тіста під час його замісу та розроблений web-додаток, який визначає силу борошна, створює можливість розробки алгоритму автоматизованого управління процесом замісу з метою підвищення якості кінцевого продукту.

Список використаних джерел

1. Т.Є. Лебеденко, Г.Ф. Пшенишнюк, Н.Ю. Соколова. Технологія хлібопекарського виробництва. Практикум. Одеса, Україна: «Освіта України», 2018, 392с.
2. 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.
3. О.М. Жигайло, В.В. Нечепуренко, В.В. Добровольський. Автоматизація замісу тіста з використанням нейронної мережі// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – О., 2019.– Том 11, №4 – С.41-48.
4. Sean Finnie, William A.Atwell. Wheat Flour. Second Edition, USA: Woodhead Publishing and AACC International Press, 2016, 164р.

References

- [1].T.Ie. Lebedenko, H.F. Pshenyshniuk, N.Iu. Sokolova. Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva. Praktykum, Odessa, Ukraina: «Osvita Ukrainy», 2018, 392s.
- [2].O.M. Zhygailo, V.V. Boris. “Klasterniy analiz danih v avtomatizovanih sistemah prostezhuvanosti,” Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protseviv. – O.,2018.- Vol.10, no.1, pp.39-46
- [3].O.M. Zhygailo, V.V. Nechepurenko, V.V. Dobrovolsky. “ Avtomatizatsiya zamisu tista z vykorystannym neyronoy merezhi” Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protseviv. – O., 2019.- Vol.11, no.4, pp.41-48.
- [4].Sean Finnie, William A.Atwell. Wheat Flour. Second Edition, USA: Woodhead Publishing and AACC International Press, 2016, 164р.

Отримана в редакції 13.02.2024. Прийнята до друку 14.02.2024. Received 13 February 2024. Approved 14 February 2024. Availablein Internet 10 April 2024