References

[1] O. Mulesa, V. Snytyuk, S. Gerzanich, "Principles and objectives of information and analytical support for prenatal care," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, *3*(2 (75)), pp. 29-35, 2015. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42823

[2] E.V. Gubler, A.A. Genkin, "Primenenie neparametricheskih kriteriev statistiki v mediko-biologicheskih issledovaniyah," L.: meditsina, 1973.

[3] S.O. Gerzanich, O.Yu. Mulesa, "Alhorytm prohnozuvannia nevynoshuvannia vahitnosti v umovakh pryrodnoho yodnoho defitsytu," *Zdorove zhenschinyi*, 8(134), pp. 48-51, 2018.

[4] Saharon Shelah, "Classification theory: and the number of non-isomorphic models," Vol. 92. Elsevier, 1990.

[5] Ya. V. Brenych, P.V. Tymoshchuk, "Neiromerezhevi metody rozviazannia zadachi klasyfikatsii," *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, *22*(13), 2012.

[6] O. Yu. Kuchanskyi, A.O. Biloshchytskyi, "Prohnozuvannia chasovykh riadiv metodom selektyvnoho zistavlennia zi zrazkom," *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy*, (6 (4)), pp. 13-18, 2015.

[7] M. Z. Zghurovskyi, P.I. Bidiuk, O.M. Terentiev, T. I. Prosiankina-Zharova, "Baiiesivski merezhi v systemakh pidtrymky pryiniattia rishen," 2015.

[8] S. D. Shtovba, "Porivniannia kryteriiv navchannia nechitkoho klasyfikatora," 2017.

[9] V. Snytyuk, O. Suprun, "Evolutionary technique for complex objects clustering." In Proc. 2017 IEEE 4th Int. Conf. "Actual Problems of Unmanned Aerial Vihicles Developments (APUAVD)", October 17-19, Kyiv, Ukraine, pp. 270-273 https://doi.org/10.1109/APUAVD.2017.8308827

УДК 664.653-933.6:004.032.26

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАМІСУ ТІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Жигайло О. М.[1], Нечепуренко В. В.[2], Добровольський В. В.[3]

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна
ORCID: [1]0000-0001-6986-4673, [2]0000-0002-8700-122X, [3]0000-0001-6591-2906
E-mail: [1]dr_jam2006@ukr.net, [2]necha-1997@ukr.net, [3]doov@ukr.net

Copyright © 2018 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/licanses/by/4.0

DOI:

Анотація.

На сучасних хлібопекарських підприємствах продовжує існувати проблема отримання якісного хліба. Вона виникає внаслідок постійної зміни властивостей як основної сировини (борошна) так і допоміжних рецептурних компонентів (дріжджів, концентрату молочно-кислої закваски, цукрових та соляних розчинів). Тому технологи-хлібопекарі, з метою підвищення якості результатів процесу замісу тіста, використовують різноманітні програми управління тістомісильними машинами. Вибір цих програм не обходиться без втручання "людського фактору", а це може негативно вплинути на кінцевий результат. Якщо реалізовувати більш ефективне реагування на ці зміни під час замісу, то можна добитися підвищення рівня стабільності якісних показників готового тіста на всіх подальших етапах його обробки.

Для пошуку можливостей вирішення цієї задачі пропонується проведення аналізу кластерної структури партій борошна, що відрізняються по показникам якості (число падіння, кількість клейковини та якість клейковини), а також дослідження результатів замісу тіста при різних програмах та з різними партіями борошна. Було підтверджено вплив хлібопекарних властивостей борошна на взаємозв'язок тривалості та інтенсивності замісу з якістю тіста, що виготовлюється. Це обумовило доцільність формування програм для тістомісильної машини на основі результатів кластерного аналізу, який надає можливість отримати додаткову, корисну інформацію для автоматизації процесу управління. Тому запропонована реалізація алгоритму автоматичного вибору програми замісу тіста для тістомісильної машини та її корегування під час замісу за допомогою штучних нейронних мереж.

Корегування залежить від реологічних властивостей тіста на які, в першу чергу, впливає сила борошна. Саме вона забезпечує процес його формування з необхідними структурно-механічними властивостями (пружність, пластичність, еластичність, в'язкість), які поєднуються і постійно змінюються в ході технологічного процесу. Оцінка цих властивостей тіста, має більш інтегральні ознаки, більш об'єктивна. Для цього можуть використовуватися два варіанти: 1) експериментальний заміс на фариографі з реєстрацією фариограми в електронному вигляді; 2) вимірювання та реєстрація активної потужності споживаної електроприводом місильного органу під час замісу тіста. Далі, по зареєстрованим даним, проводиться автоматичний розрахунок необхідних показників властивостей тіста і здійснюється корегування параметрів програми замісу.

Abstract.

At modern bakeries, the problem of obtaining high quality bread continues to exist. It occurs as a result of constant change in the properties of both the basic raw material (flour) and auxiliary recipe components (yeast, lactic acid concentrate, sugar and saline solutions). Therefore, in order to improve the quality of the results of the dough mixing process, bakeries use a variety of control systems for dough-mixing machines. The choice of these programs is not without the intervention of the "human factor", and this can negatively affect the end result. By more effectively responding to these changes during dough mixing, it is possible to improve the stability of the quality of the ready dough at all subsequent stages of processing.

In order to find ways to solve this problem, it is suggested to analyze the cluster structure of flour batches, which differ in quality indicators (number of falls, gluten amount and gluten quality), as well as study of the results of dough mixing in different programs and with different batches of flour. The effect of the baking properties of the flour on the relationship between the duration and intensity of the mixing and the quality of the dough being produced has been confirmed. This made feasibility to create programs for the dough-mixing machine based on the results of cluster analysis, which provides an opportunity to obtain additional useful information for automation of the control process. Therefore, it is proposed to implement an algorithm for automatically selecting a dough mixing program and correcting it during mixing by using artificial neural networks.

The correction depends on the rheological properties of the dough, which is primarily affected by the strength of the flour. It provides the process of its formation with the necessary structural-mechanical properties (elasticity, plasticity, viscosity), which are combined and constantly change during the technological process. The evaluation of these properties has more integral features and is more objective. For this purpose two variants can be used: 1) experimental design on a pharinograph with registration of a pharyngogram in electronic form; 2) measuring and recording the active power consumed by the electric drive of the mixing element during the dough mixing. Further, according to the registered data, an automatic calculation of the necessary indicators of the property of the dough is carried out and the parameters of the mixing program are corrected.

Ключові слова: якість борошна, заміс тіста, хлібобулочні вироби, кластеризація, нейронна мережа, автоматизація управління.

Keywords: flour quality, dough mix, bakery products, clustering, neural network, control automation.

Вступ

Хлібобулочні вироби належать до одної з важливих груп продуктів харчування людини тому що містять велику кількість корисних для здоров'я речовин. Саме тому задачі підтримання і підвищення їх якості є досить актуальними для добробуту суспільства та комерційного успіху хлібопекарних підприємств.

Найбільш потужним представником цієї галузі в Одеській області є ТМ "Одеський хлібозавод №4", яка має в управління виробничі майданчики розташовані в м. Одеса (№ 2 і № 4), м. Білгород-Дністровський (№ 3) та м. Котовськ (№1), а загальна виробнича потужність дозволяє випускати до 200-220 т продукції на добу. Проаналізувавши основні процеси хлібопекарного виробництва на цьому підприємстві, були зроблені висновки в необхідності більш детального дослідження процесів підготовки сировини для замісу тіста та його реалізацію.

Заміс тіста є одним із найважливіших технологічних процесів виробництва. Від нього в значній мірі залежить подальший хід успішного виготовлення хлібу і досягнення таких показників, які відповідають належній якості. При прийомі борошна на підприємство в лабораторних умовах проводять його випробування для визначення фізико-хімічних показників (вологість, число падіння (ЧП), кількість клейковини (КК) та якість клейковини (ЯК), білість, крупність помелу). Також, відбувається визначення реологічних властивостей тіста (вологість, тиск, індекс розтяжності, еластичність) на відповідних приладах. Результати випробувань обумовлюють якість готової продукції. Якщо показники знаходяться в межах норми та виконується регламент технологічного процесу, то на виході маємо отримати хліб з правильною формою, хорошими смаковими властивостями і ароматом, еластичним м'якушем і нормальним забарвленням кірки [1].

Нестабільність показників, що визначають майбутню споживчу і харчову цінність готових виробів, залежить від різних об'єктивних причин. Наприклад, погодні умови дуже сильно впливають не тільки на врожайність, а ще на ЯК і КК. Якщо холодна погода навесні та на початку літа, то не утворюється достатньої кількості клейковини, а внаслідок рясних дощів формується слабка клейковина (рис.1). Спекотна погода на момент дозрівання забезпечує високу якість зерна за рахунок активного росту крохмальних гранул, а часті дощі під час збору врожаю сприяють зниженню показника ЧП.

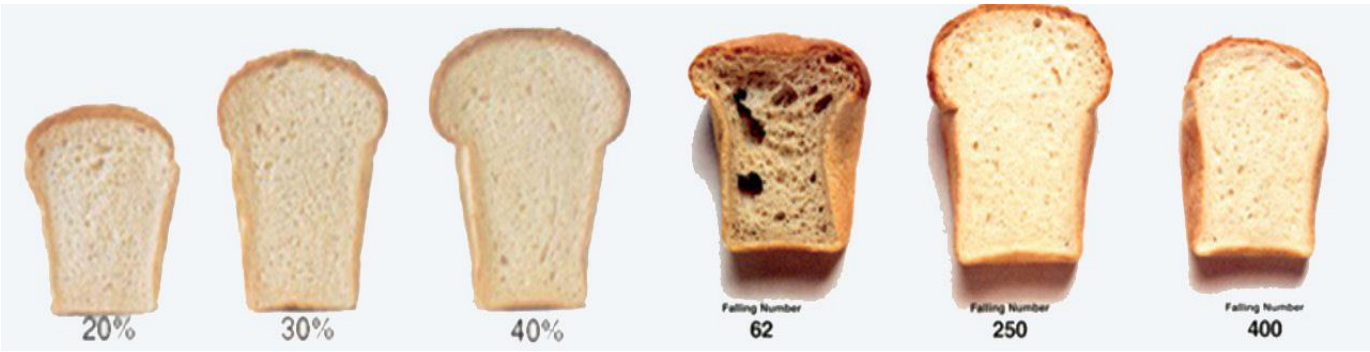

Рис. 1 – Вплив КК та ЧП на якість хлібу

Мета дослідження

Метою цієї роботи є підвищення ефективності управління замісом тіста для нівелювання коливань властивостей пшеничного борошна та комплексного формування якості хлібобулочних виробів. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1) проведення аналізу партій борошна та визначення їх кластерної структури;

2) встановлення залежності між кластерами партій борошна та програмами замісу тіста;

3) удосконалення програм замісу тіста на основі його реологічних властивостей.

Матеріали і методи

Для замісу тіста автоматично розраховується необхідна кількість інгредієнтів. Під час замісу може змінюватися швидкість (інтенсивність) і тривалість. В процесі проведення експериментів по визначенню необхідної тривалості та інтенсивності замісу тіста для борошна з різними показниками якості, були підтверджені такі залежності:

1) при збільшенні показника КК необхідно збільшувати швидкість і тривалість замісу тіста;

2) при збільшенні показника ЯК необхідно зменшувати швидкість і тривалість замісу;

3) при збільшенні показника ЧП тривалість і швидкість замісу необхідно збільшувати, також для ЧП зі значеннями до 350сек рекомендована низька швидкість замісу, а вище - висока швидкість.

Враховуючи ці висновки технологами були розроблені програми замісу тіста для тістомісильної машини періодичної дії фірми «Diosna» (рис.2), які відрізняються різними режимами функціонування. Дана модель оснащена двома швидкостями обертання тістомісильного органу, завдяки яким проводиться заміс тіста: 1-а швидкість – 72 об/хв, 2-а швидкість – 154 об/хв.

Рис. 2 – Тістомісильна машина Diosna SP 240

Їх відмінність у тому, що для двох етапів замісу, які відбуваються на різних швидкостях, встановлюються різні інтервали часу. За допомогою першої швидкості усі інгредієнти ретельно змішуються до однорідної маси, друга швидкість служить для придання тісту необхідної структури. Фрагмент таблиці програм замісу з різними режимами роботи тістомісильної машини наведено на рис.3.

Нестабільна якість поставленого на підприємство борошна, присутність людського фактору під час вибору необхідної програми замісу тіста впливає на якість готової продукції. Для вирішення цієї проблеми пропонується алгоритм автоматичного встановлення тривалості та інтенсивності замісу тіста в залежності від вхідних показників якості борошна (тобто визначення головних параметрів програми замісу на початку процесу) та оперативне визначення реологічних властивостей тіста з метою послідуючого корегування режимів роботи тістомісильної машини.

Номер программы	5	12	14	15	16	19	20
Смешивание, сек	60		60	60	60	60	60
1-я скорость, сек	240	90	60	120	170	170	150+60
Отлежка, сек	30						30
2-я скорость, сек	420	120	90	300	190	120	120
Выгрузка, сек			120	120	120	120	120

Рис. 3 – Режими роботи тістомісильної машини

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 [2].

Алгоритм автоматичного вибору програми замісу тіста для тістомісильної машини та її корегування під час замісу може бути реалізовано за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ), які є математичними моделями, що спроектовані за прикладом дії біологічних нейронних мереж. Основою ШНМ є модель людського мозку, який складається із мільярдів нейронів, що з'єднанні синапсами. Аналогічно, ШНМ складаються з обчислювальних елементів які називають штучними нейронами. Зв'язки між нейронами визначають характеристики як мозку так і штучних нейронних мереж. Нейронні мережі володіють наступними перевагами: паралелізм, можливість навчання та здатність до узагальнення. Людський мозок володіє високим ступенем паралелізму оскільки кожен нейрон зв'язаний із сотнями інших нейронів одночасно. Тому ШНМ найкраще підходять для розпізнання об'єктів, що використовують паралелізм. Іншою важливою перевагою нейронних мереж над звичайними алгоритмами є їх здатність до навчання [3].

Результати дослідження та їх обговорення

Першим кроком є проведення кластерного аналізу партій борошна за фізико-хімічними показниками. Його метою стає розбиття вибірки партій (об'єктів) на кластери (групи) зі схожими показниками. Для цього було обрано програмний модуль «Zhy&Bor» [4]. 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 (центроїдів) (рис. 4,5). В результаті проведення кластерного аналізу були отримані 27 кластерів.

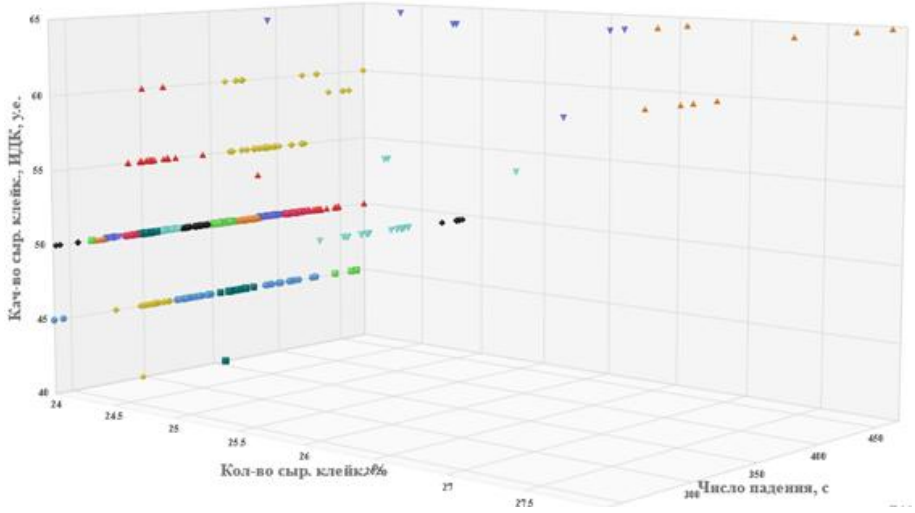

Рис. 4 – 3D модель результату кластеризації

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. 5 – Фрагмент результатів кластеризації у табличному вигляді

Дослідження результатів замісу при різних програмах, що використовуються на підприємстві, підтвердили вплив показників якості борошна на тривалість замісу та обумовили доцільність вибору програми на основі результатів кластерного аналізу (варіант, де було отримано 11 кластерів). Тобто певні параметри замісу тіста були зв'язані з партіями борошна, що належали до якогось конкретного кластеру. На базі цих залежностей в IBM SPSS Modeler була створена модель нейронної мережі, що зображена рис.6.

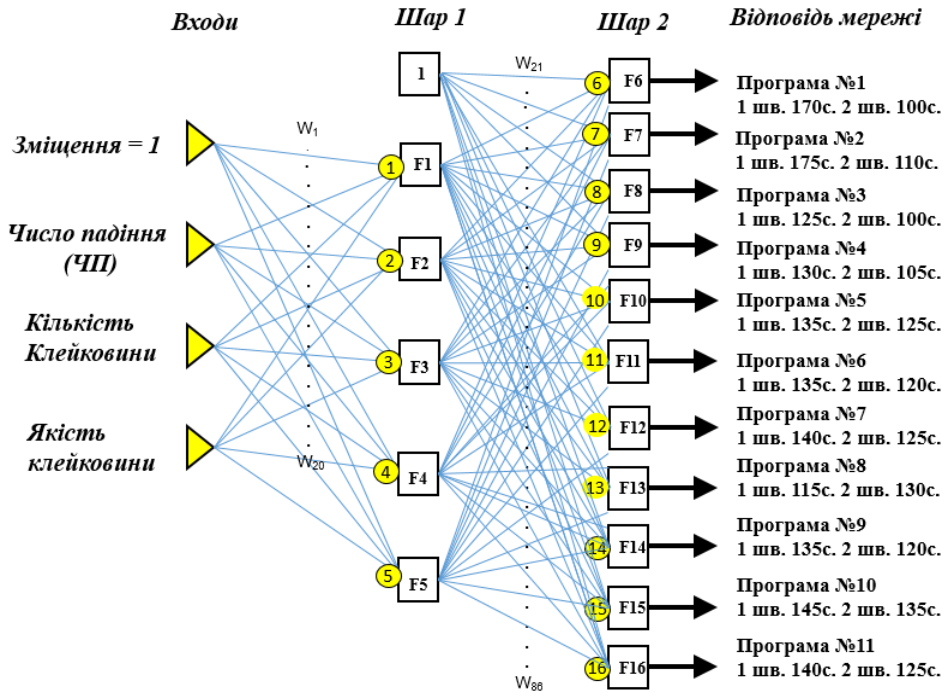

Рис. 6 – Модель нейронної мережі

Також були розраховані коефіцієнти зв'язків, функція активації та зважені суми входів (рис.7).

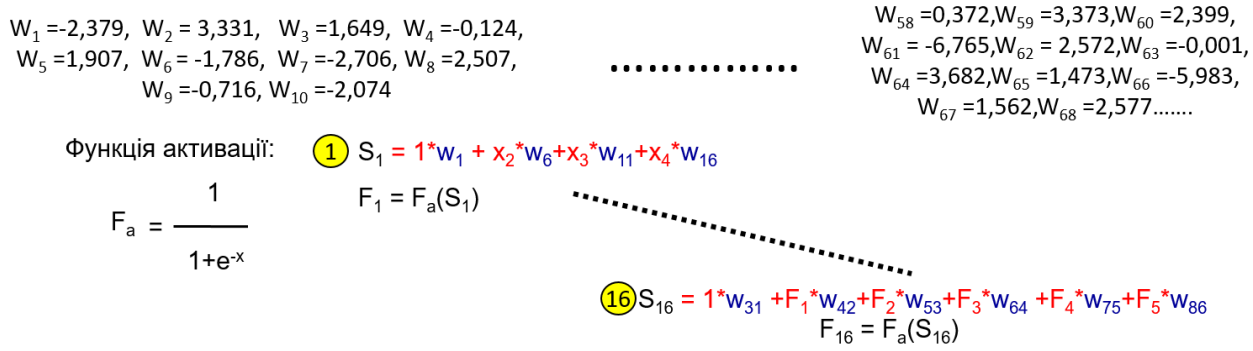

Рис.7 – Розрахункова частина нейронної мережі

До вхідних параметрів нейронної мережі належать показники якості борошна (ЧП, ІДК, КК). На виході отримуємо номер необхідної програми. Модель обумовлює вибір тієї чи іншої програми в залежності від показників якості борошна. В подальшому її реалізовано у програмному модулі, що відповідає класу систем підтримки прийняття рішень.

Але окрім числа падіння, кількості та якості клейковини у борошна є ще велика кількість показників, яка впливає на якість готової продукції. Отже виникає необхідність отримання інформації про стан тіста, безпосередньо, під час замісу та корегування програм замісу у поточний момент часу. Для цього були досліджені структурно-механічні властивості тіста. В більшості випадків вони вимірюються за допомогою такого приладу, як фариноґраф Брабендера (Brabender). Крива, яку викреслює самопис приладу, називається фариноґрамою (рис.8). Вона відображає такі властивості тіста: ***a*** – консистенція тіста, ***b*** – тривалість утворення тіста (це час, протягом якого консистенція тіста досягає свого максимуму), ***c*** – еластичність і розтяжність тіста, ***d*** – стабільність (стійкість) тіста, ***e*** – розрідження тіста [5].

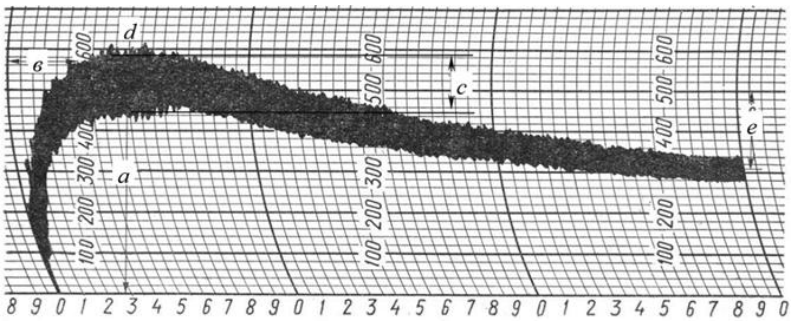

Рис. 8 – Фариноґрама

На процес формування тіста з необхідними структурно-механічними властивостями впливають хлібопекарські властивості борошна, а саме його сила. Сила борошна – це здатність його утворювати тісто, яке має після замісу і в процесі бродіння, розробки, вистоювання певні реологічні властивості. Чим сильніше борошно, тим вища його водопоглинальна здатність і тим більший вихід готових виробів. По фариноґрафі визначається кількість води, витраченої для одержання тіста оптимальної консистенції (500 од. приладу). Тож доцільно виявляти максимальну кількість води для борошна з певної партії та момент часу, коли необхідно припинити заміс. Процес запису результатів експерименту реалізований за допомогою прикріплення потенціометру до стрілки самописця фариноґрафа. Його положення змінюється за рухом стрілки. Зміну напруги в діапазоні 0-5 В фіксує АЦП (аналогово-цифровий перетворювач), далі відбувається реєстрація та запис значень приладу у цифрову вигляді (рис.9).

Другим варіантом початку рішення задачі отримання тіста оптимальної консистенції запропоновано встановлення вимірювального перетворювача активної потужності 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 з RS-485, що застосовується для його реєстрації та запису у цифровому вигляді (рис.10).

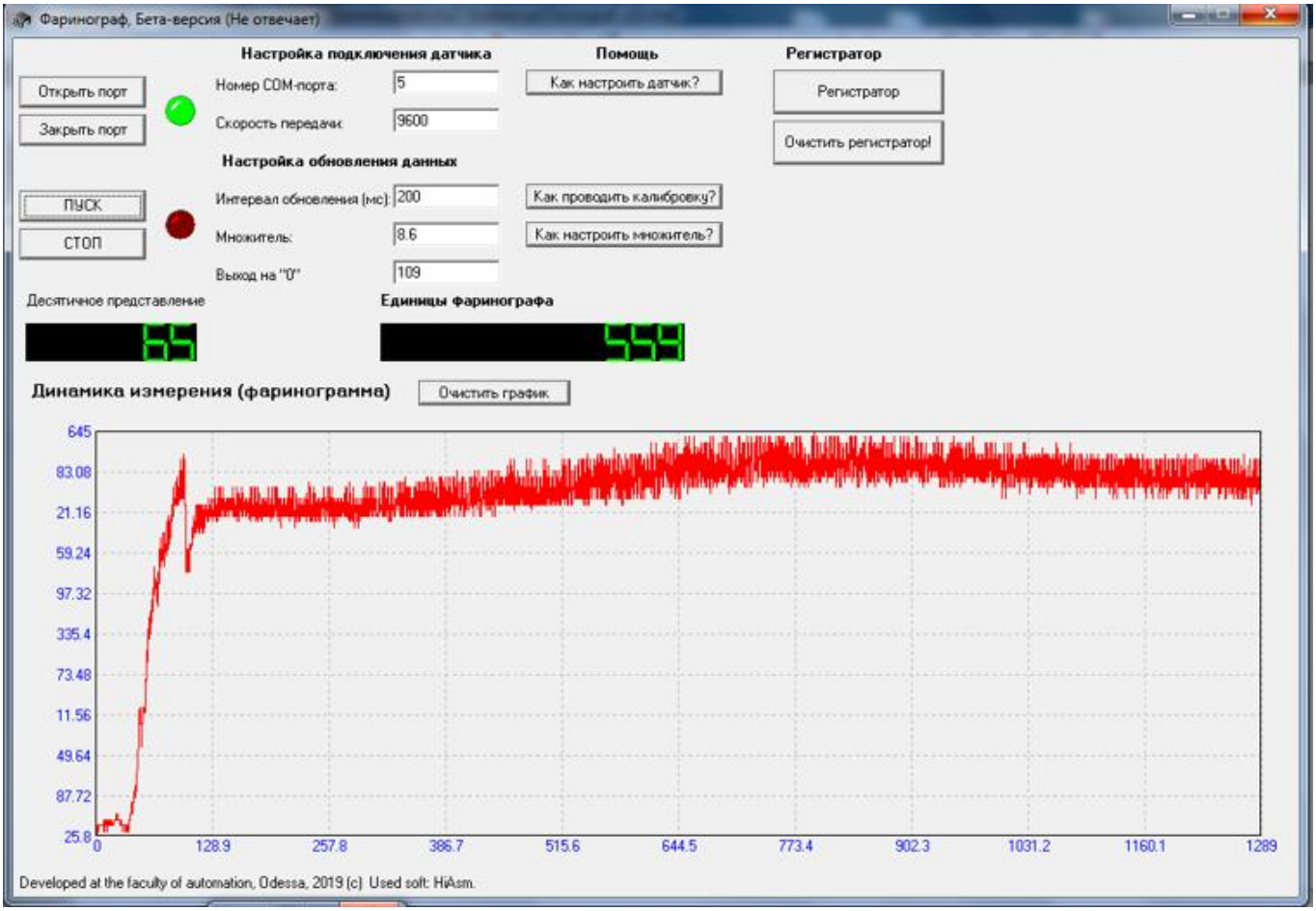

Рис. 9 – Результати реєстрації значень фарінограми

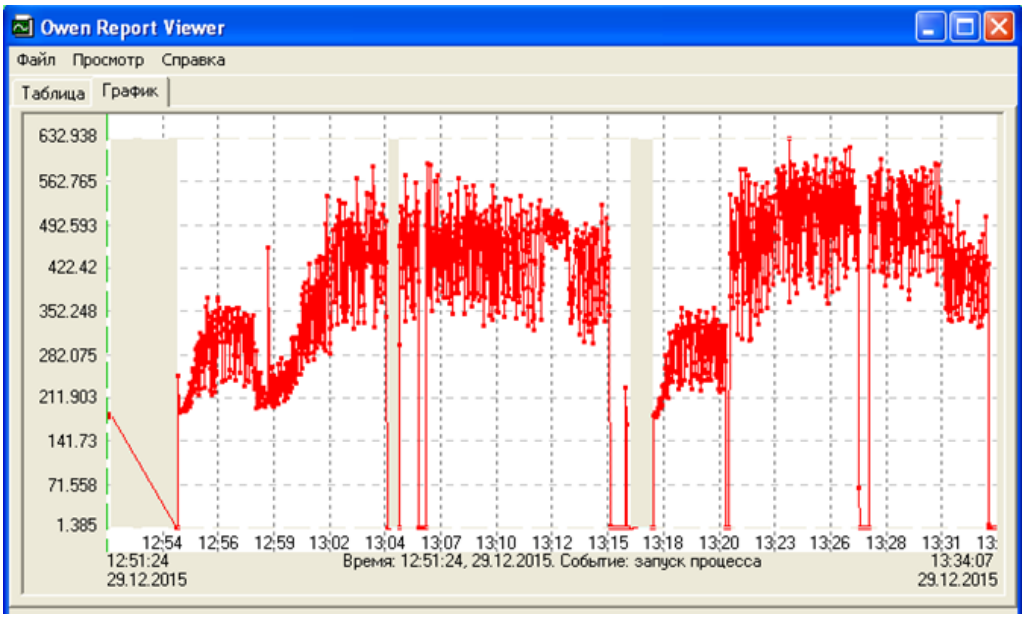

Рис. 10 – Результати реєстрації активної потужності споживаної електроприводом місильного органу

По отриманим даним в автоматичному режимі розраховуються найбільш важливі показники структурно-механічних властивостей тіста. Це дозволяє провести автоматичну корекцію параметрів програми замісу тіста. В основі алгоритму, що реалізує цю корекцію може виступати модель штучної нейронної мережі. Він буде визначати коли консистенція тіста досягає свого оптимуму та з'являється необхідність припиняти заміс. Така можливість непрямого визначення точок переходу в структурах тіста при замісі дозволить нам розраховувати на виготовлення тіста, яке набуває максимальної якості. Це в свою чергу, дозволить домогтися оптимального регулювання механічного впливу на борошно в цілому, що в кінцевому підсумку приведе до можливості контролю і зміни його водопоглинальної здатності, а отже до підвищення якості та збільшення виходу готової продукції і прибутку підприємства.

Висновки.

1. На підприємстві існує проблема отримання якісного хліба, яка виникає внаслідок постійної зміни властивостей основної сировини - борошна. Проаналізувавши цю проблему, було виділено ряд показників, які впливають на якість хлібу. Цей вплив було виявлено ще на стадії виготовлення тіста.
2. Для пошуку можливостей вирішення проблеми запропоновано проведення аналізу кластерної структури партій борошна за показниками його якості. Завдяки цьому отримана додаткова корисна інформація для автоматизації процесу замісу тіста.
3. Дослідивши результати замісу при різних програмах, підтвердився вплив показників якості борошна на тривалість та інтенсивність замісу та було вирішено створення програм для тістомісильної машини на основі результатів кластерного аналізу.
4. Алгоритм автоматичного вибору та корекції програми замісу тіста для тістомісильної машини було реалізовано за допомогою штучних нейронних мереж.

Список використаних джерел

[1] Основні технологічні процеси виробництва хліба. URL: https://studfiles.net/preview/5740103/page:3/ (дата звернення: 10.04.2019).
[2] Кластерний аналіз. URL: https://pidruchniki.com/11800912/ekonomika/klasterniy_analiz (дата звернення: 13.06.2019).
[3] Штучні нейронні мережі. URL: http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0060.pdf (дата звернення: 13.06.2019).
[4] 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.
[5] Т.Є. Лебеденко, Г.Ф. Пшенишнюк. Технологія хлібопекарського виробництва - ОНАХТ, О.,2009. – С. 50-55.

References

[1] Osnovni tehnologichni procesyi virobnictva hliba. [Online] Available: https://studfiles.net/preview/ 5740103/page:3/ [Accessed April 10, 2019].
[2] Klasterniy analiz. [Online] Available: https://pidruchniki.com/11800912/ekonomika/klasterniy_analiz [Accessed June 13, 2019].
[3] Shtuchni neyronni mereji. [Online] Available: http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0060.pdf [Accessed June 13, 2019].
[4] O.M. Zhigaylo,V.V. Boris, "Klasterniy analiz danih v avtomatizovanih sistemah prostezhuvanosti," Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protsesiv",vol.10, no.1, pp.39-46, 2018.
[5] T.E. Lebedenko, G.F. Pshenishnuk, Tejnologiya hlibopekars'kogo virobnitstva - ONAFT, O.,2009. – pp. 50-55. https://doi.org/10.1632/prof.2009.2009.1.50