

УДК 663.1

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.305-311>

О.О. Пархомовський, Д.В. Трушаков, доц., канд. техн. наук, **М.О. Федотова**, канд. техн. наук, **О.А. Козловський**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: dmitro.trushakov@gmail.com*

Модернізація та дослідження системи керування процесом ферментації опари

Статтю присвячено розробці нового методу визначення готовності ферментованого тіста в герметичному ферментаторі на основі моніторингу витрат газів з герметичного ферментатора. Було проведено детальний аналіз і визначені популярні методи виробництва хліба, зокрема, на основі методу "Біга". Дослідження було зосереджено на процесі ферментації та властивостях цього процесу.
arduino, мікроконтролер, ферментація, розробка програмного забезпечення, тісто, хліб

Постановка проблеми. Сучасні виробничі процеси надзвичайно вимагають ефективного використання часу для забезпечення високої якості продукції. Під час виготовлення хлібопекарських виробів однією з важливих стадій є ферментація тіста, яка вимагає певного часу для досягнення його оптимальної пишності. Визначити момент готовності опари до виймання з ферментатора може бути складно. В Україні на виробництвах використовуються різні підходи, включаючи менш автоматизований підхід, коли ефективність процесу ферментації залежить від досвіду оператора який відповідає за цей процес. У цьому випадку оператор вручну встановлює тривалість ферментації та налаштовує температуру і вологість у камері. Після закінчення встановленого часу ферментації, ферментатор може вимкнутися або надіслати сигнал оператору.

У зв'язку з різноманітністю впливів на процес ферментації тіста, встановлений оператором час може бути неточним. Ця неоднаковість веде до потреби в автоматизації процесу визначення готовності тіста.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В Україні та за кордоном проведено ряд досліджень, присвячених вивченню газоутворювальної здатності борошна. На основі цих досліджень можна зробити висновок, що газоутворювальна здатність борошна є одним з найважливіших показників його якості. Вона визначає обсяг та якість готового хліба. Серед найбільш вагомих публікацій і досліджень варто виділити наступні.

У роботі [2], в якій було встановлено, що газоутворювальна здатність борошна круп'яних культур залежить від вмісту амілолітичних ферментів у ньому. Борошно з високим вмістом амілолітичних ферментів має більшу газоутворювальну здатність.

У роботі [6] є інформація про загальні відомості газоутворювальної здатності борошна. Зазначається, що газоутворювальна здатність борошна залежить від багатьох факторів, включаючи сорт борошна, його якість, вміст амілолітичних ферментів, температуру та вологість ферментації, а також кількість дріжджів.

У роботі [7] є також загальні відомості про газоутворювальну здатність борошна. Зазначається, що газоутворювальна здатність борошна є одним з найважливіших показників його якості. Вона визначає обсяг та якість готового хліба.

Постановка завдання. Метою даного проекту є оптимізація процесу ферментації тіста на виробництві хлібу з використанням сучасних програмних засобів та інструментів вимірювання фізичних параметрів. Система, яка розробляється, повинна мати можливість динамічного налаштування через спеціальний пульт управління та бути здатною до керування з існуючого пульта управління за допомогою RS-232 інтерфейсу.

Завдання дослідження. Провести аналіз існуючих методів ферментації, визначити найефективніший серед них. Ретельно проаналізувати обрану методологію та виявити можливості її вдосконалення. Розробити автоматизовану систему керування, яка інтегрується з існуючими процесами. Забезпечити можливість налаштування та управління новою системою через пульт управління. Перевірити функціональність розробленого продукту. На підставі теоретичних досліджень розробити модернізацію існуючої системи керування герметичним ферментатором з використанням властивостей процесу ферментації.

Виклад основного матеріалу. Після проведеного аналізу літератури та існуючих досліджень було виявлено, що газоутворювальна здатність борошна залежить від наступних факторів.

1. Вміст амілолітичних ферментів. Борошно з високим вмістом амілолітичних ферментів має більшу газоутворювальну здатність. Це пов'язано з тим, що амілолітичні ферменти розщеплюють крохмаль на цукри, які є джерелом енергії для дріжджів.

2. Сорт борошна. Борошно з вищого сорту має меншу газоутворювальну здатність, ніж борошно з нижчого сорту. Це пов'язано з тим, що в борошні вищого сорту міститься менше амілолітичних ферментів.

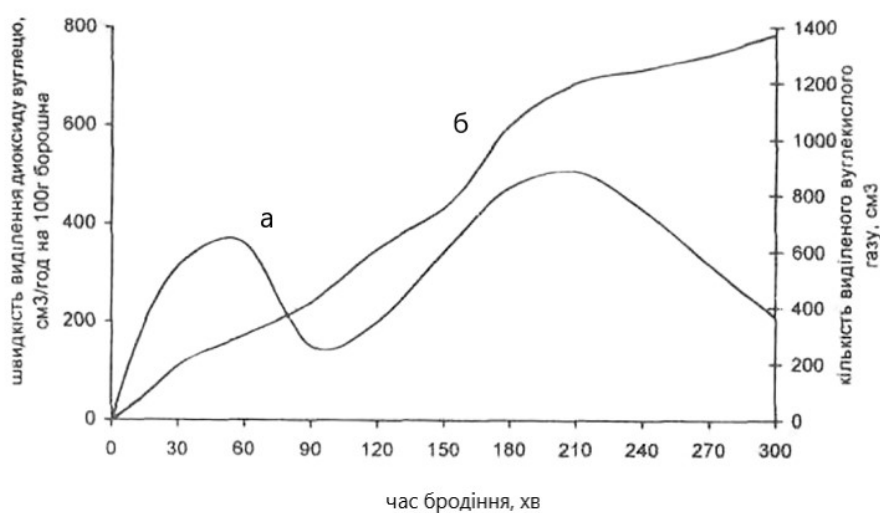
3. Якість борошна. Борошно з доброю якістю має більшу газоутворювальну здатність, ніж борошно з поганою якістю. Це пов'язано з тим, що в борошні з доброю якістю міститься більше клейковини, яка є каркасом для утримання газу.

4. Температура та вологість ферментації. Температура та вологість ферментації впливають на активність дріжджів. При підвищеній температурі та вологості ферментації активність дріжджів збільшується, що призводить до більшої газоутворення.

5. Кількість дріжджів. Кількість дріжджів впливає на кількість газу, що утворюється в процесі ферментації. При збільшенні кількості дріжджів збільшується кількість газу.

Серед можливих методів визначення готовності опари можна виділити аналіз таких параметрів, як час, температура, газоутворення або візуальний огляд. Враховуючи ці фактори, стає можливим вдосконалення процесу виробництва та забезпечення стабільної якості хлібобулочних виробів, раціонально використовуючи час і ресурси.

У дослідженні процесу газоутворення [2] було наведено графік виділення діоксиду вуглецю ферментами (рис.1). З показників цього графіку було отримане порогове значення витісненого газу відповідно якого тісто вважається достатньо проферментованим, було створено необхідний алгоритм який розраховує порогове значення залежно від кількості тіста в ферментаторі.



а – динаміка газотворення, *б* – загальне газотворення за весь час

Рисунок 1 – Динаміка виділення діоксиду вуглецю в пшеничному борошні першого сорту

Джерело: [2]

Серед популярних ферментаторів був обраний BRSSF 100 (рис. 2) як потенційний зразок для модернізації. Для цього було підбрано доцільні прилади, а витрати на модернізацію одного 100-літрового ферментатора склали 10 863,30 грн.



Рисунок 2 – Ферментатор моделі BRSSF 100

Джерело: [8]

На підставі проведеного аналізу, встановлено необхідність створення системи моніторингу за витратами газу. Було розроблено функціональну схему автоматичної системи моніторингу, яку можна використати на виробництві (рис. 3).

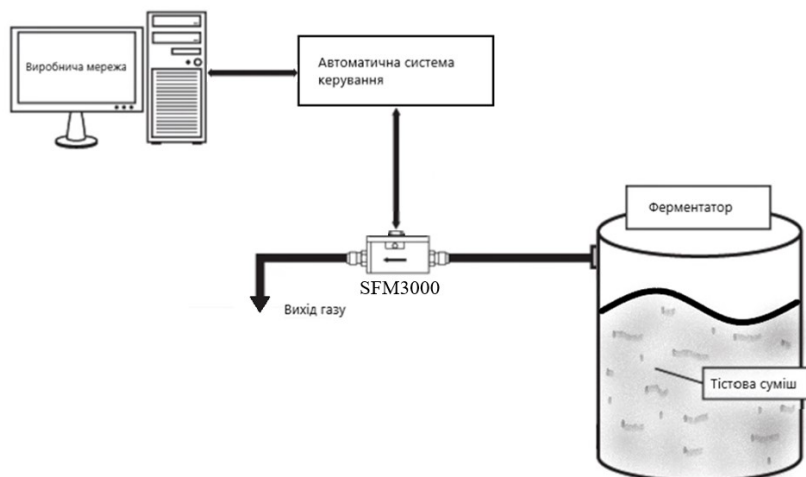


Рисунок 3 – Функціональна схема автоматичної системи моніторингу

Джерело: розроблено авторами

Розробка системи автоматичного керування була проведена з використанням програмного забезпечення Arduino IDE (рис. 4) та моделювання прототипу в віртуальній середовищі Wokwi (рис. 5). Принцип роботи системи полягає в використанні існуючої системи моніторингу витрат газу та додаткового мікроконтролера.

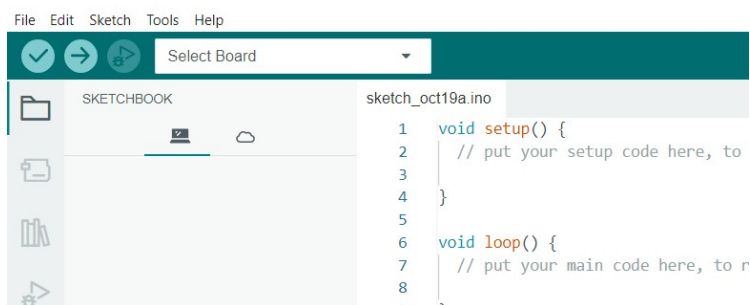


Рисунок 4 – Інтерфейс Arduino IDE

Джерело: [9]

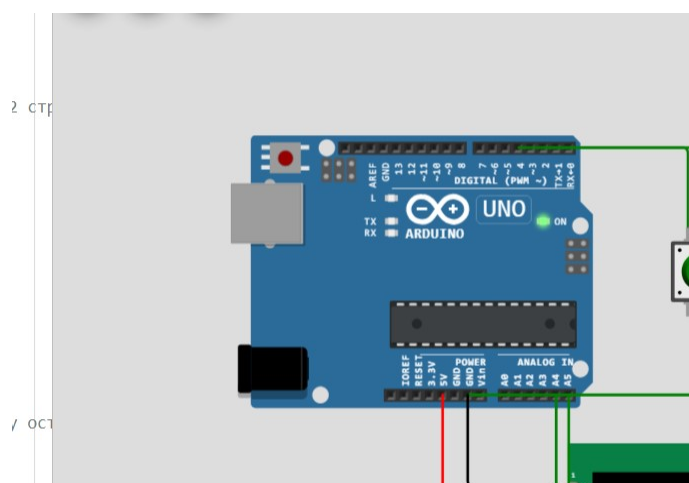


Рисунок 5 – Модель прототипу на платформі Wokwi

Джерело: розроблено авторами

Було створено систему автоматичного керування, що використовує систему моніторингу витрат газу за допомогою додаткового мікроконтролера (рис. 6).



ΔV – аналоговий сигнал залежно від потоку газу; t° – температура внутрішньої атмосфери;
 ϕ – вологість внутрішньої атмосфери; V – кількість літрів тіста в ферментаторі

Рисунок 6 – Автоматична система керування ферментатором

Джерело: розроблено авторами

Для оптимальної роботи додаткової системи автоматичного керування герметичним ферментатором необхідні наступні матеріали: харчовий шланг; газовий витратомір SFM3000-200C; мікроконтролер R3CH340; модуль TTL-RS232 MAX3232; кабель інтерфейсний RS-232; перехідник обладнання Lucom COM(DB9)-RJ45 UTP5e F/F Assemble Kit (RS232 over TP) синій(62.09.8014); 40x Dupont (Дюпон) кабель мама-мама 20см для Arduino.

Для оптимальної роботи додаткової системи автоматичного керування герметичним ферментатором необхідно забезпечити взаємодію її компонентів. Для цього потрібно підключити харчовий шланг до системи виведення газів. Це дозволить газовому витратоміру отримувати дані про витрату газу, потім встановити газовий витратомір на шляху харчового шланга. Це забезпечить точне вимірювання витрати газу, далі з'єднати газовий витратомір з мікроконтролером через I²Сінтерфейс. Це дозволить мікроконтролеру отримувати дані від витратоміра. Потрібно розмістити витратомір поруч із мікроконтролером на відстані не більше 3 метрів. Це забезпечить надійний зв'язок між компонентами.

Крім того необхідно встановити зв'язок з пультом управління через інтерфейс RS-232. Через велику напругу необхідний конвертер сигналів MAX3232 з'єднання якого зображено на рисунку 7.

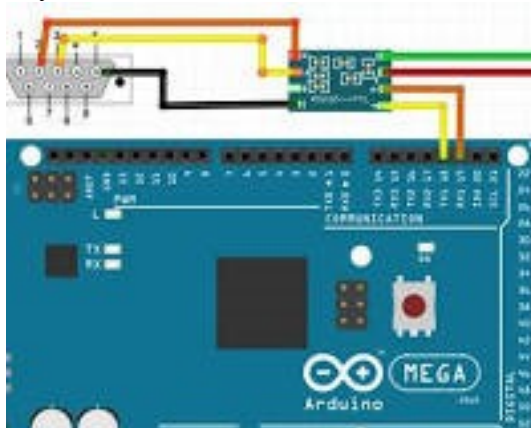


Рисунок 7 – З'єднання MAX3232 з Arduino

Джерело: розроблено авторами

Принцип роботи системи автоматичного керування полягає у наступному (рис.8). Центральний контролер збирає дані від витратоміру і пульта управління. Він обробляє ці дані, встановлює порогове значення згідно вбудованого рівняння і приймає рішення на основі вимог та налаштувань без необхідності втручання користувача. Моніторинг об'єкта проводиться за допомогою витратоміра, який періодично вимірює потік повітря та передає ці дані до центрального контролера. Центральний контролер містить два блоки - блок порівняння і блок прийняття рішень. В блоку порівняння порівнюється поточне значення з пороговим значенням регульованого параметра. На основі цього порівняння в блоку прийняття рішень вирішується, чи слід виконувати певну дію, наприклад, вимикати певний виконавчий пристрій.



Рисунок 8 – Функціональна схема автоматичного контролю ферментацією

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Розроблена система автоматичного керування ферментатором на основі витрат газу має ряд переваг, які дозволяють підвищити ефективність виробництва хліба. За допомогою цієї системи можна точно визначати момент готовності ферментованого тіста. Ця можливість базується на інформації про те, що витрати газу є прямою функцією газоутворювальної здатності тіста, яка, у свою чергу, залежить від його якості. Завдяки цьому виробники можуть бути впевнені, що їхній хліб буде мати оптимальну пишність та якість. Крім того, система дозволяє регулювати витрати газу, що сприяє вдосконаленню продуктивності процесу ферментації, що дозволить скоротити тривалість ферментації і звільнить додаткові потужності для виробництва інших видів продукції.

Система може бути використана в ферментаторах різного об'єму. Для цього необхідно лише ввести на початку технічного процесу кількість літрів тіста, яке обробляє ферментатор. Загалом, ця модернізація системи керування ферментатором є ефективним рішенням, яке дозволяє підвищити якість та продуктивність виробництва хліба.

Список літератури

1. Мацай М.Ю. Основи біотехнології. ЛНУ ім. Тараса Шевченка, 2011 . 154 с.
2. Гетьман І.А., Михонік Л.А. Дослідження вуглеводно-амілазного комплексу борошна круп'яних культур. Національний університет харчових технологій, 2019. 47-51 с.
3. Дробот В.І., Степаненко Т.О. "Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів харчоконцентратів: курс лекцій денної та заочної форм навчання. Київ: НУХТ, 2006. 267 с.
4. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління ; за ред. проф. Г.Ф. Зайцева. К.: Техніка, 2002. 688с.
5. Лазарев М.І., Шевченко С.М., Іванова В.І. Газоутворювальна здатність пшеничного борошна різних сортів. *Хлібопекарство України*. 2022. № 2. С. 36-39.
6. Кучер В.П., Півень О.М., Зінько В.М., Загайний В.М., Кучер О.М. Біотехнологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Вища школа, 2006. 432 с.
7. Лазарев М.І., Лазарев В.І., Іванова В.І. Хлібопекарська технологія. Київ: Навчальна книга - Богдан, 2012. 480 с.

8. Ферментатор BRSSF 100. URL: <https://www.used-bakery.com/products/sourdough-fermenter-hematronic?variant=11856974577706> (дата звернення: 03.11.2023)
9. Arduino programming notebook. URL: <http://engineering.nyu.edu/gk12/ampscbri/pdf/ArduinoBooks/Arduino%20Programming%20Notebook.pdf> (date of application: 05.11.2023)

References

1. Matsaj, M.Yu. (2011). *Osnovy biotekhnolohii [Basics of biotechnology]*. LNU im. Tarasa Shevchenka, [in Ukrainian].
2. Het'man, I.A. & Mykhonik, L.A. (2019). *Doslidzhennia vuhlevodno-amilaznoho kompleksu boroshna krup'ianykh kul'tur [Study of the carbohydrate-amylase complex of cereal grain flour]*. Natsional'nyj universytet kharchovykh tekhnolohij [in Ukrainian].
3. Drobot, V.I. & Stepanenko, T.O. (2006). *Tekhnolohiia khliba, kondyters'kykh, makaronnykh vyrobiv kharchokontsentrativ : kurs leksij [Technology of bread, confectionery, pasta products of food concentrates: a course of lectures]*. Kyiv: NUKhT [in Ukrainian].
4. Zajtsev, H.F., Steklov, V.K. & Brits'kyj, O.I. (2002). *Teoriia avtomatychnoho upravlinnia [Theory of automatic control]*. H.F. Zajtseva (Eds.). Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].
5. Lazariiev, M.I., Shevchenko, S.M. & Ivanova, V.I. (2022). Hazoutvoriuval'na zdattnist' pshenychnoho boroshna riznykh sortiv [Gas-forming capacity of wheat flour of different varieties]. *Khlibopekarstvo Ukrainy – Bakery of Ukraine, № 2*, 36-39 [in Ukrainian].
6. Kucher, V.P., Piven', O.M., Zin'ko, V.M., Zahajnyj, V.M. & Kucher, O.M. (2006). *Biotekhnolohiia: pidruchnyk dlia studentiv vyschykh navchal'nykh zakladiv [Biotechnology: a textbook for students of higher educational institutions]*. Kyiv: Vyscha shkola [in Ukrainian].
7. Lazariiev, M.I., Lazariiev, V.I. & Ivanova, V.I. (2012). *Khlibopekars'ka tekhnolohiia [Bakery technology]*. Kyiv: Navchal'na knyha - Bohdan [in Ukrainian].
8. Fermentator BRSSF 100. *used-bakery.com*. Retrieved from <https://www.used-bakery.com/products/sourdough-fermenter-hematronic?variant=11856974577706> [in Ukrainian].
9. Arduino programming notebook. *engineering.nyu.edu*. Retrieved from <http://engineering.nyu.edu/gk12/ampscbri/pdf/ArduinoBooks/Arduino%20Programming%20Notebook.pdf> [in English].

Oleksandr Parkhomovskyi, master's student, **Dmytro Trushakov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci., **Oleksandr Kozlovskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University in Kropyvnytskyi, Ukraine

Modernization and Research of the Control System of the Process of Dough Fermentation

A new method for determining the readiness of fermented dough in a sealed fermenter is proposed in the article. A detailed analysis was conducted and popular bread production methods were identified, including the Biga method. The study focused on the fermentation process and its properties.

The fermentation process is an important part of bread production. It affects the texture, taste, and nutritional value of the finished bread. There are many different fermentation methods, each with its own advantages and disadvantages. In the traditional fermentation method, the dough is left on a table at room temperature. This method is simple and does not require expensive equipment. However, it can be unreliable, as the fermentation process is difficult to control. More modern fermentation methods use sealed fermenters. This allows for controlling the temperature, humidity, and oxygen level in the fermentation environment. This ensures a more uniform fermentation process and improves the quality of the finished bread. However, existing sealed fermenter systems that use timers have limitations. They cannot accurately determine the readiness of the dough. This can lead to the dough being under-fermented or over-fermented. A new method for determining the readiness of fermented dough in a sealed fermenter has been developed. This method uses a microcontroller and a gas consumption monitoring system. The microcontroller collects data on the current state of fermentation, including temperature, humidity, and oxygen level. The gas consumption monitoring system measures the amount of gas produced during fermentation. The microcontroller uses this data to determine the readiness of the dough. It does this by analyzing the fermentation rate curve.

The new method is accurate and reliable. It can be used for any type of sealed fermenter of any volume. The new method has the potential to improve the quality and consistency of bread production.

arduino, microcontroller, fermentation, software development, dough, bread

Одержано (Received) 20.11.2023

Прорецензовано (Reviewed) 07.12.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023