

УДК 658.5

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-24-10

Маркіна Л.М., Смолянкін О.О., Сацик В.О., Решетило О.М.

Луцький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ОДНОПЛАТНОГО КОМП'ЮТЕРА RASPBERRY PI ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ФЕРМЕНТАЦІЇ МОЛОКА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СИРУ

Проведено дослідження харчової промисловості та визначено ряд проблем, які пов'язані з низьким технічним рівнем підприємств та використанням ручної праці, що впливає на якість та ефективність виробництва. Особливу увагу приділено ділянці ферментації молока при виробництві сиру, визначено нестійкість системи керування. Було застосовано методіку теорії автоматичного керування з корекцією параметрів системи, що дозволило досягнути стійкості системи. Для покращення показників якості системи розглянуто використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, здійснено підбір необхідних технічних засобів автоматизації, розроблено електричну схему регулювання температури в процесі ферментації з PID – регулятором. Отримано перехідні характеристики та визначено час регулювання системи.

Ключові слова: ферментація, регулювання температури, система автоматичного керування, стійкість, критерій Найквіста, годограф Михайлова, одноплатний комп'ютер Raspberry Pi.

Постановка проблеми. Харчова промисловість в Україні є одна з найважливіших та найбільших галузей промисловості. Вона забезпечує виробництво широкого спектру продуктів харчування, таких як: зернові, м'ясо, молоко, олію, кондитерські вироби та багато іншого. Україна є експортером сільськогосподарської продукції, зокрема соняшникової олії, м'ясної продукції, зернових культур та молочної продукції. Перелічена продукція є лише малим відсотком від усіх існуючих напрямків харчової промисловості, які виробляються в Україні. Хоч дана галузь має великий потенціал, зокрема експорт в країни Європи, але існує і ряд проблем та викликів з якими стикається [1]. Зокрема до них можна віднести: старіння обладнання, недостатня кількість інвестицій, зміна стандартів якості продукції та багато іншого, що спричиняє нестабільність роботи. У зв'язку з цим чимало підприємств спрямовують свою увагу на удосконалення технологічних процесів із застосуванням сучасних технічних засобів автоматизації.

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження в галузі харчової промисловості, підкреслюють кілька ключових проблем і викликів, що стоять перед цим сектором. Однією з таких проблем є низький технічний рівень підприємств, що впливає на якість та ефективність виробництва. Ще однією проблемою є високий рівень застосування ручної праці, зокрема в контексті виробництва молочної продукції. Це призводить до зниження ефективності виробництва, збільшення витрат на оплату праці та збільшення ризику помилок та непередбачених відхилень у якості продукції [2,6].

Виклад основного матеріалу. У даній статті розглянемо одну із ділянок харчової промисловості, а саме процес ферментації молока при виробництві сиру. Даний процес передбачає сквашування молока для подальшого отримання сирного згустку. Ділянка ферментації є однією із початкових та ключових стадій від якої в подальшому залежить якість готової продукції, оскільки для дії ферментів необхідно здійснювати контроль та регулювання температурного режиму в межах від 30°C до 40 °C. В залежності від видів сиру температура може коливатись: для м'яких 30°C -35°C, тверді 38°C -40°C, напівтверді 35°C -38°C. Технологія ферментації молока здійснюється в змішувачах, які обладнані мішалками та паровими сорочками для нагріву та підтримання температурного режиму. Молоко та фермент надходять у ємність у визначених кількостях 1:10, 1:20, 1:50 в залежності від виду сиру. Для забезпечення контролю та регулювання температури на підприємствах не завжди використовують сучасні мікропроцесорні засоби автоматизації, які забезпечують своєчасне реагування на зовнішні чинники, які можуть виникнути під час процесу ферментації.

Проведені дослідження, які здійснювались на ділянці ферментації молока при виробництві сиру, дозволили виявити ряд проблем - нестійкість системи керування. Розглянемо САР температури в ферментаторі, які представлена у вигляді структурної схеми на рисунку 1.

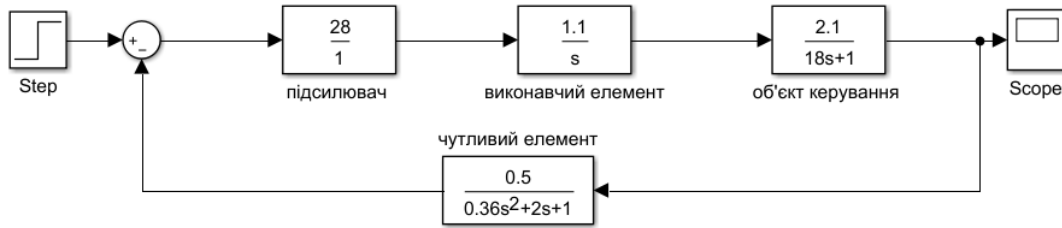
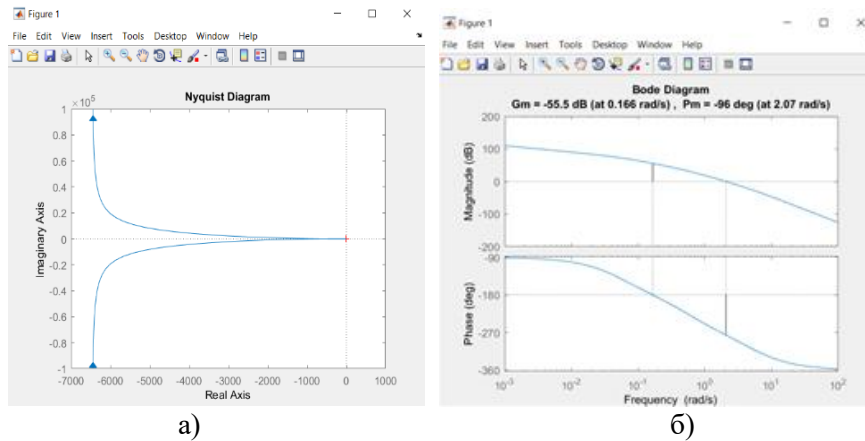


Рисунок 1 – Структурна схема САР температури у ферментаторі при виробництві сиру

Для дослідження системи автоматичного керування було використано критерії Найквіста та Михайлова, які дозволяють дослідити стійкість у розімкнутому та замкнутому стані.



а)

б)

Рисунок 2 – Критерій Найквіста:

а – амплітудна фазочастотна характеристика; б – ЛАЧХ та ЛФЧХ

Отримані характеристики підтверджують нестійкість системи у розімкнутому стані. Відповідно до формулювання критерію Найквіста, для стійкості системи в розімкнутому стані необхідно, щоб амплітудна фазочастотна характеристика не охоплювала точку з координатами $(-1;j0)$ та ЛАЧХ перетинала вісь частот раніше, ніж ЛФЧХ -180 [3]. Отримані характеристики даних умов не виконуються, тому САР є нестійкою.

У замкнутому стані дослідження здійснювались за допомогою побудови годографа Михайлова, що теж підтвердив нестійкість, оскільки він не починає свій рух з дійсної осі та не проходить послідовно 4 квадранти, які відповідають степені характеристичного рівняння.

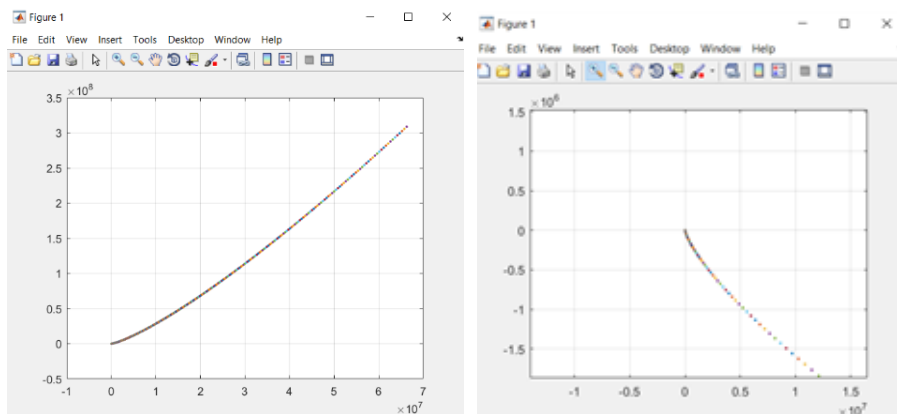


Рисунок 3 – Годограф Михайлова

Також було проведено побудову перехідної характеристики САР, яка відображає реакції системи на дію збурення та її стабілізацію. Отримана характеристика остаточно підтвердила нестійкість досліджуваної системи.

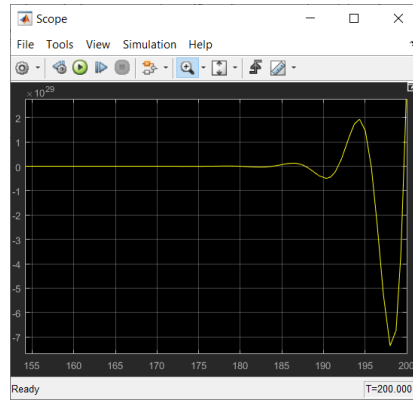


Рисунок 4 – Перехідна характеристика замкнутої системи

Для вирішення даної проблеми в теорії автоматичного регулювання існує методика, яка передбачає введення в систему автоматичного регулювання коректуючої ланки та визначення параметрів коефіцієнта підсилення, що буде забезпечувати стійкість, а також визначення його критичного значення. Отримані дані дозволяють не лише забезпечувати стійкий стан системи та проводити налаштування параметрів обладнання в допустимих межах не допускаючи переходу системи в нестійкість. Застосування даного алгоритму дозволили отримати наступну САР, що зображена на рисунку 5.

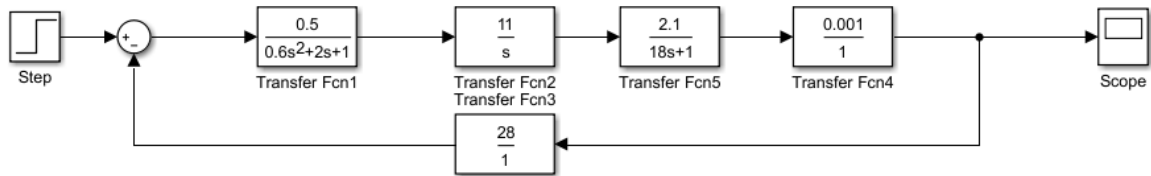


Рисунок 5 – Структурна схема САР температури у ферментаторі при виробництві сиру з корекцією

Передаточна функція розімкнутої системи з корекцією:

$$W_p = \frac{0.3234}{6.48s^4 + 36.36s^3 + 20s^2 + s}$$

Передаточна функція замкнутої системи з корекцією:

$$W_3 = \frac{0.3234}{6.48s^4 + 36.36s^3 + 20s^2 + s + 0.3234}$$

Провівши перерахунки із врахування корекції системи було отримано характеристики за критерієм Найквіста, що зображено на рисунку 6, а також годограф Михайлова на рисунку 7.

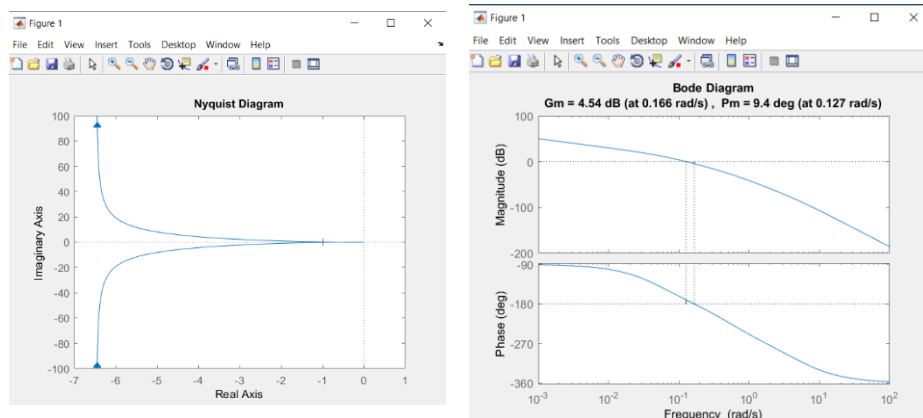


Рисунок 6 – Характеристики Найквіста з корекцією

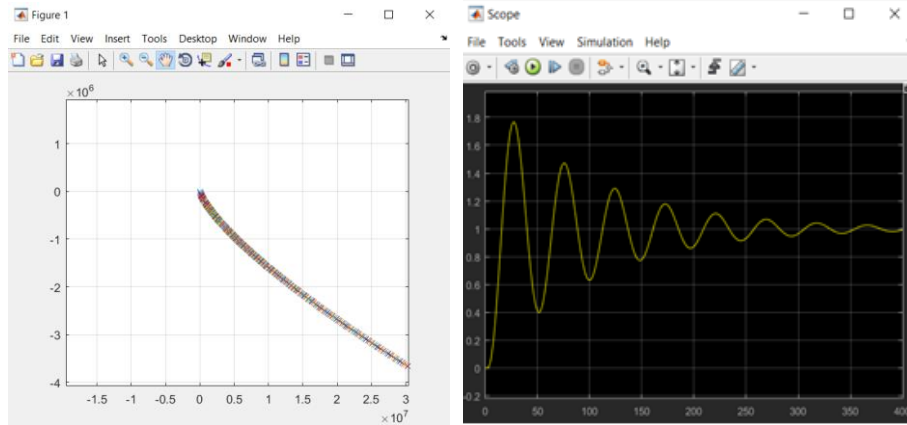


Рисунок 7 – Годограф Михайлова та перехідна характеристика з корекцією.

Застосування методики введення коректуючої ланки дозволило змінити характеристики системи, шляхом додавання додаткового елемента в контур керування, що компенсує недоліки або вдосконалює структуру системи, також дозволяє підвищити стійкість системи до зовнішніх впливів або параметричних змін, забезпечуючи більш точне керування і надійність роботи. Підтвердженням є отримані характеристики, які вказують на стійкість системи у розімкнутому та замкнутому стані. Час регулювання за перехідною характеристикою становить 400 с. Дані результати дають можливість не лише покращити ефективність роботи системи, а й надійність.

Сучасні системи автоматичного керування передбачають не лише використання класичних методів теорії автоматичного керування, але і застосування контролерів та одноплатних комп'ютерів: контролери DS1104 від фірми dSPACE [4], ADAM-4000 та Raspberry Pi. Два перші контролери є дорогішими, що може стати перешкодою для малих виробництв, що тільки розпочинають свою діяльність. Також, складність процесу налаштування та програмування, вимагає глибоких знань в області MATLAB/Simulink або мов програмування C/C++, що може виявитися викликом для неспеціалізованих користувачів. Однак ми пропонуємо використати одноплатний комп'ютер, який є більш доступним та економічним рішенням - Raspberry Pi [5].

З врахуванням цих можливостей, його можна використовувати для розробки складних систем керування, зокрема температурою в ферментаторі при виробництві сиру. Для реалізації цієї системи потрібно деяке обладнання, таке як датчики температури, реле для керування нагрівачами, а також програмне забезпечення для зчитування даних з датчиків та управління реле. На щастя, Raspberry Pi має широкий спектр портів та можливостей для підключення зовнішніх пристроїв, що робить його ідеальним для таких завдань. Електрична схема зображена на рисунку 8.

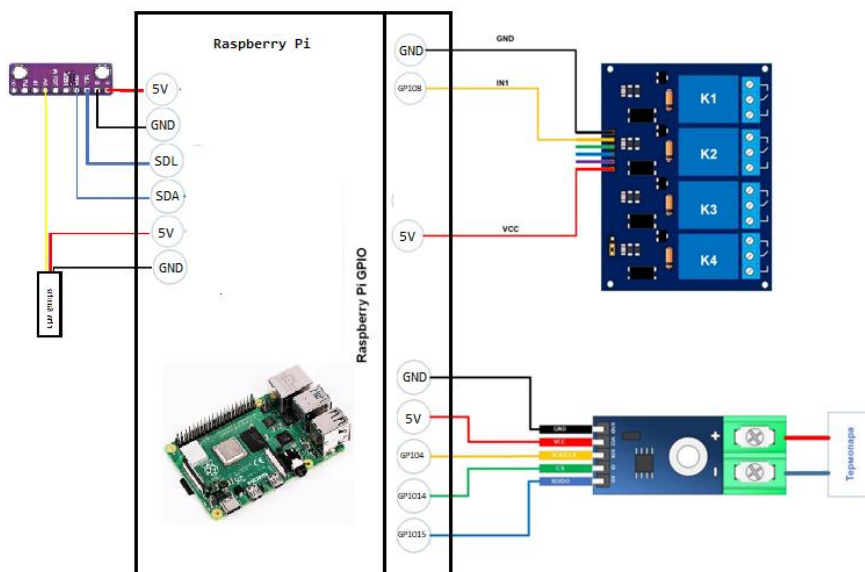


Рисунок 8 – Електрична схема регулювання температури в процесі ферментації

Термопара типу К підключена до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi через цифровий підсилювач MAX6675, який забезпечує компенсацію холодного з'єднання і перетворює сигнал від термопари у цифровий формат. Цей модуль дозволяє безперервно вимірювати температуру у змішувачі, забезпечуючи необхідну точність і надійність.

Для налаштування температури керування у змішувачі використовується змінний опір, який підключений до входів SDL та SDA через перетворювач ADS1015. Цей перетворювач аналогових сигналів в цифровий формат забезпечує точне вимірювання значень опору, що відповідають заданій температурі керування.

Для регулювання температури в ферментаторі використовується модульне реле, яке підключене до виходу GPIO8 Raspberry Pi. Це реле дозволяє автоматично управляти роботою нагрівачів або інших пристроїв, що забезпечують регулювання температури, згідно з отриманими даними від термопари та перетворювача опору.

Така конфігурація дозволяє ефективно контролювати та регулювати температуру в змішувачі за допомогою одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, забезпечуючи оптимальні умови для отримання сирного згустку. Для спроектованої схеми була використана мова програмування Python. На цій мові програмування реалізована програма, що використовує попередньо розраховані коефіцієнти передаточної функції та PID регулятора, які вже є вбудовані в програму та використовуються для ефективного керування температурним режимом у ферментаторі при виробництві сиру.

Результатом роботи розробленої системи керування є побудова двох перехідних характеристик, які відображають застосування двох способів.

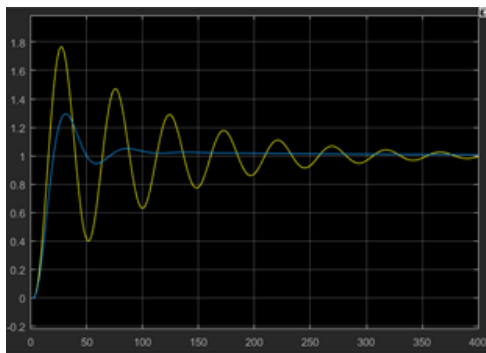


Рисунок 9 – Перехідні характеристики отримані методом корекції та із застосуванням контролера Raspberry Pi.

Висновки. В даній роботі було досліджено на стійкість процес ферментації при виробництві сиру із застосуванням класичного методу теорії автоматичного керування та з допомогою сучасних засобів автоматизації, а саме одноплатного комп'ютера Raspberry Pi та побудовано відповідні перехідні характеристики до кожного з них. Застосування одноплатного комп'ютера та PID – регулятора забезпечує не лише стійкість системи, але і покращує показники якості системи, а саме час регулювання, який становить 150 с.

Інформаційні джерела

1. Антоненко Т. Молокопереробка року 2011-го // Молоко і ферма. 2012. № 1 (8). С. 22–27.
2. Михайлицька О.Р., Сливка Н.Б., Турчин І.М. Актуальні проблеми вітчизняного сироваріння / Збірник наукових праць ВНАУ. Безпека продуктів харчування та технологія переробки. 2013. Випуск 3 (73). 192-196 с.
3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. 2-ге вид., перероб. і дог. К.: Либідь, 2007. 656 с
4. Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Моделювання процесу замісу у змішувальному баку при виробництві спирту. // WORLD SCIENCE. № 6 (34) Vol. 2, June 2018. P. 52-56. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/12062018/5820.
5. Simon Mork Raspberry Pi Cookbook. Software and Hardware Problems and Solutions. O'Reilly Media. 2022. p.618
6. І.Г. Власенко, Т.В. Семко, С.В. Гирич. Інновації у виробництві твердих сирів. Вінниця, РВВ ВТЕІ КНТЕУ, 2018. 144 с.

Markina L., Smoliankin O., Satsik V., Reshetylo O.

Lutsk National Technical University

USING A SINGLE-BOARD RASPBERRY PI COMPUTER TO CONTROL THE TEMPERATURE OF MILK FERMENTATION IN CHEESE PRODUCTION.

A study of the food industry has been carried out. A number of problems have been identified that are associated with the low technical level of enterprises and the use of manual labour, which affects the quality and efficiency of production. Particular attention is paid to the area of milk fermentation in cheese production, and the instability of the control system is identified. The methodology of automatic control theory with correction of system parameters was applied, which allowed to achieve system stability. To improve the quality indicators of the system, the use of a single chamber was considered, the necessary technical means of automation were selected, and an electrical circuit for temperature control during fermentation with a PID controller was developed. The transient characteristics are obtained and the system control time is determined.

Keywords: *fermentation, temperature control, automatic control system, stability, Nyquist criterion, Mikhailov hodograph, unicameral computer Raspberry Pi.*