

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»
на тему
АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ
AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ENZYME
PRODUCTION

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АВм-21
Ткачук Назарій Олександрович _____
(підпис)

Керівник: к.с.-г.н., доцент
Сацик Віктор Олександрович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» грудня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
К.т.н., Гуменюк Павло Олександрович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 17 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

_____ к.т.н., Повстяной О. Ю.

"__" _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ткачук Олександр Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація технологічного процесу виробництва ферментних препаратів

керівник роботи: к. т. н., доцент, Федік Леся Юріївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 27 » 06 2025 року №304/01-02

2. Строк подання здобувачем роботи: 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічний процес виробництва ферментних препаратів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Стан питання і завдання досліджень. 2 Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. 3 Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації. 4 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. 5 Обґрунтування вибору і опис принципів схем автоматизації. 6 Програма функціонування мікроконтролера. 7 Спеціальна частина. 8 Обґрунтування вибору щитів, пультів і засобів монтажу. 9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 10 техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки та рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу

1 Схема функціональна – формат А1. 2. Схема електрична принципова – формат А1. 3 Блок-схема – формат А1. 4 Програма - формат А1. 5 Щит керування - формат А1. 6

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретична частина</i>	<i>Сацик В. О.</i>		
<i>Аналітична частина</i>	<i>Сацик В. О.</i>		
<i>Рекомендаційна частина</i>	<i>Сацик В. О.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Гарант ОПП</i>	<i>Гуменюк П. О.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____ %	
<i>Академічна добротність</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.06.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вибір теми кваліфікаційної роботи</i>	До 27.06.2025 р.	виконано
2.	<i>Стан питання і завдання досліджень</i>	До 02.07.2025 р.	виконано
3.	<i>Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування</i>	До 20.07.2025 р.	виконано
4.	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації</i>	До 01.08.2025р.	виконано
5.	<i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i>	До 05.09.2025 р.	виконано
6.	<i>Спеціальна частина</i>	До 07.10.2025 р.	виконано
7.	<i>Обґрунтування вибору і опис принципових схем автоматизації</i>	До 10.10.2025 р.	виконано
8.	<i>Програма функціонування мікроконтролера</i>	До 10.10.2025 р.	виконано
9.	<i>Розрахунок економічної ефективності системи автоматизації, що проектується</i>	До 20.10.2025 р.	виконано
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	До 01.11.2025 р.	виконано
11.	<i>Інструментальна перевірка і експертне оцінювання рівня унікальності тексту</i>	До 05.12.2025 р.	виконано
12.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	До 14.12.2025 р.	виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ткачук Н. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сацик В. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ткачук Н. О. Автоматизація технологічного процесу виробництва ферментних препаратів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, десяти розділів, загальних висновків та переліку використаних джерел та додатків.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва ферментних препаратів. Виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта керування, розроблено функціональну схему автоматизації та алгоритм роботи системи керування. Обґрунтовано вибір датчиків, виконавчих механізмів і програмованого логічного контролера на базі модулів серії I-7000, розроблено програмне забезпечення контролера. У спеціальній частині виконано розрахунок надійності системи автоматизації. Проведено розрахунок і вибір блока живлення, розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, а також виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження автоматизованої системи, що забезпечує підвищення стабільності технологічного процесу, якості продукції та надійності роботи виробництва.

Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 5 листа формату А1 (840×594 мм). Обсяг пояснювальної записки становить 73 друкованих сторінок.

Кваліфікаційна робота магістра містить 3 рисунків, 11 таблиць. Використано 20 літературних джерел та інформація з глобальної мережі Інтернет.

Ключові слова: ферментні препарати, програмований логічний контролер I-7000, датчики, виконавчі механізми, надійність системи, охорона праці, техніко-економічне обґрунтування.

ANNOTATION

Tkachuk N. Automation of the technological process of enzyme production. Manuscript.

Master's qualification thesis of the Educational Program «Automation and Computer-Integrated Technologies» in the specialty 174 «Automation, Computer-Integrated Technologies, and Robotics.» Lutsk National Technical University, Lutsk, 2025.

The master's qualification work consists of an introduction, ten chapters, general conclusions, a list of references, and appendices.

The master's qualification thesis is devoted to the development of an automated control system for the technological process of enzyme preparation production. The technological process as a control object has been analyzed, and a functional automation scheme and a control system operating algorithm have been developed. The selection of sensors, actuators, and a programmable logic controller based on I-7000 series modules has been substantiated, and the controller software has been developed. In the special section, the reliability calculation of the automation system has been performed. The calculation and selection of the power supply unit have been carried out, occupational health and safety issues and emergency safety have been considered, and a feasibility study of implementing the automated system has been performed, ensuring increased stability of the technological process, product quality, and production reliability.

The volume of the graphic part of the master's qualification thesis is 5 A1 sheets (840 × 594 mm). The explanatory note comprises 73 printed pages.

The master's qualification thesis contains 3 figures and 11 tables. A total of 20 literature sources and information from the global Internet network were used.

Keywords: enzyme preparations, I-7000 programmable logic controller, sensors, actuators, system reliability, occupational health and safety, feasibility study.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1 Характеристика продукції, сировини, напівфабрикатів та особливості виробництва.....	11
1.2 Стадії технологічного процесу.....	12
1.3 Характеристика комплексів устаткування.....	13
1.4 Будова і принцип дії лінії.....	14
1.5 Параметри технологічного процесу.....	16
1.6 Вимоги до системи автоматизації.....	17
Висновки до розділу 1.....	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	20
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	22
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	25
4.1 Обґрунтування вибору датчиків.....	25
4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів.....	27
4.3 Обґрунтування вибору контролера.....	29
Висновки до розділу 4.....	30
РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ.....	32
5.1 Опис принципової електричної схеми підключення датчиків та виконавчих елементів до контролера.....	32
5.2 Розрахунок та вибір блока живлення.....	34
Висновки до розділу 5.....	35
РОЗДІЛ 6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	37

6.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління.....	37
6.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера.....	39
Висновки до розділу 5.....	40
РОЗДІЛ 7 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ.....	42
РОЗДІЛ 8 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЩИТІВ, ПУЛЬТІВ І ЗАСОБІВ МОНТАЖУ.....	46
РОЗДІЛ 9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	48
РОЗДІЛ 10 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	51
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	58

ВСТУП

Актуальність теми.

Актуальність автоматизації виробництва ферментних препаратів зумовлена зростаючою роллю біотехнологій у харчовій, фармацевтичній, кормовій та хімічній промисловості. Ферментні препарати широко застосовуються як біокаталізатори, що дозволяють інтенсифікувати технологічні процеси, знизити енерговитрати та підвищити якість кінцевої продукції. В умовах сучасного виробництва особливого значення набуває стабільність параметрів культивування, сушіння, осадження та змішування, оскільки відхилення температури, вологості або режимів обробки можуть призвести до зниження ферментативної активності. Використання автоматизованих систем керування дозволяє забезпечити точне підтримання технологічних режимів, мінімізувати вплив людського фактора та підвищити надійність і безпеку виробництва.

Проблема дослідження.

Основною проблемою виробництва ферментних препаратів є недостатня точність і оперативність контролю технологічних параметрів на окремих стадіях процесу, зокрема під час сушіння, осадження, центрифугування та змішування. Застосування застарілих або фрагментарних систем керування не забезпечує необхідної стабільності режимів, що негативно впливає на якість готового продукту та призводить до перевитрат сировини й енергії. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці та впровадженні сучасної автоматизованої системи керування, здатної забезпечити безперервний контроль і ефективне регулювання основних параметрів технологічного процесу.

Мета кваліфікаційної роботи – полягає у підвищенні ефективності функціонування та стабільності технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів шляхом розроблення і впровадження автоматизованої системи керування, яка забезпечує оптимальне підтримання регламентованих параметрів на всіх основних стадіях виробництва.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення ферментних препаратів, що включає стадії сушіння культуральної рідини, осадження ферментів, сепарації, вакуумного сушіння, подрібнення та змішування готового продукту.

Предмет дослідження – сукупність методів, технічних засобів і алгоритмічних рішень автоматизованого вимірювання, контролю та керування параметрами технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів, зокрема температурою, вологістю, рівнем і масою, що забезпечують стабільність і ефективність роботи виробничої лінії.

Методи досліджень – охоплюють опрацювання науково-технічних джерел і нормативної документації, аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизованого керування, системний підхід до оцінювання виробничих параметрів, обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації, а також розроблення, моделювання й перевірку алгоритмів керування з використанням програмного середовища AdamView та мови Basic Script.

Задачі дослідження:

- 1) виконати аналіз технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів як об'єкта автоматизованого керування та визначити основні параметри, що підлягають контролю і регулюванню;
- 2) обґрунтувати структуру автоматизованої системи керування виробничою лінією;
- 3) розробити функціональну схему автоматизації процесу виготовлення ферментних препаратів;
- 4) здійснити вибір і обґрунтування датчиків, виконавчих механізмів та модулів програмованого логічного контролера серії I-7000;
- 5) розробити принципові схеми підключення технічних засобів автоматизації та визначити порядок їх взаємодії в системі;
- 6) створити алгоритм функціонування системи керування та реалізувати програмне забезпечення контролера у середовищі AdamView;

7) виконати розрахунок і вибір блока живлення для системи автоматизації та оцінити її надійність;

8) провести техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження автоматизованої системи керування.

Практична цінність та галузь застосування.

Полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення та автоматизації виробничих ліній виготовлення ферментних препаратів. Запропоновані технічні та програмні рішення сприяють зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню стабільності технологічних режимів і якості готової продукції, а також підвищенню рівня безпеки роботи обладнання.

Наукова новизна – полягає у розробленні комплексної автоматизованої системи керування процесом виготовлення ферментних препаратів на основі модулів серії I-7000 із застосуванням сучасних датчиків технологічних параметрів та оптимізованих алгоритмів регулювання, що забезпечують підвищення стабільності, надійності та ефективності технологічних режимів.

За результатами виконаних досліджень і розроблення автоматизованої системи керування підготовлено та опубліковано наукову роботу Ткачук Н. О., Сазик В. О., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Автоматизація технологічного процесу виробництва ферментних препаратів. *Актуальні проблеми автоматизації та управління*: матер. XIII-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Луцьк, 28 лист. 2025 р.). Вип. 13. Луцьк, 2025. С. 187-191.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Характеристика продукції, сировини, напівфабрикатів та особливості виробництва

Ферментні препарати – це біологічно активні концентрати, отримані шляхом культивування спеціально відібраних мікроорганізмів. Окрім власне ферментів, вони містять супутні баластні речовини. Основне їх призначення у харчовій промисловості – каталіз і пришвидшення біохімічних реакцій. Для промислового синтезу ферментів застосовують продуцентів рослинного, тваринного та, переважно, мікробного походження. Найактивнішими є гриби родів *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Penicillium*, а також бактерії *Bacillus*, здатні інтенсивно продукувати амілолітичні, протеолітичні та інші ферменти. Живильні середовища готують із синтетичних компонентів або природних матеріалів, таких як м'яса, висівки, солодові паростки та інші відходи харчової промисловості. Для ефективного синтезу ферментів необхідно забезпечити оптимальну температуру, рівень рН, аерацію та склад середовища [1].

У харчовому виробництві найбільш поширеними є амілолітичні препарати Амілоризин П10х і Амілосубтилін Г10х. Це дрібнодисперсні порошки світлих відтінків, добре розчинні у воді. Амілоризин містить комплекс амілаз, а Амілосубтилін, синтезований *Bacillus subtilis*, характеризується підвищеною термостабільністю. Протосубтілін Г10х має виражену протеолітичну активність і застосовується переважно в м'ясній, молочній та пивоварній промисловості [1].

Виробництво ферментів здійснюють двома основними способами – поверхневим та глибинним культивуванням. Поверхневий метод передбачає ріст мікроорганізмів на твердій або напіврідкій основі з достатнім доступом кисню і використовується переважно для міцеліальних грибів. Глибинне культивування відбувається у рідкому середовищі з перемішуванням та інтенсивною аерацією, що дозволяє отримувати стабільний вихід ферментів, особливо у бактерій. Після

закінчення культивування ферменти вилучають фільтрацією чи екстракцією, концентрують, очищують та висушують. Для очищення застосовують осадження органічними розчинниками, висолювання та фракціонування [2].

Найменування ферментних препаратів формують за назвою основного ферменту та продуцента, а індекси (П – поверхневий спосіб, Г – глибинний; число – ступінь очищення) відображають технологічні особливості їх отримання.

1.2 Стадії технологічного процесу

Оскільки глибинне культивування є найбільш продуктивним і технологічно керованим методом отримання ферментних препаратів, його етапи можна узагальнити так [3]:

- підготовка живильного середовища. Компоненти середовища змішують, стерилізують та охолоджують до температури, придатної для внесення мікроорганізмів;
- формування посівного матеріалу та вирощування робочої культури. Отримують активну посівну суспензію та переводять її у виробничий ферментатор для основного культивування;
- відділення та зневоднення біомаси. Після завершення росту мікроорганізмів тверду фазу відокремлюють від культуральної рідини та висушують;
- обробка побічних продуктів і відокремлення рідкої фракції. Нерозчинні залишки фасують, а фільтрат спрямовують на подальшу переробку.
- згущення ферментного розчину. Культуральну рідину концентрують до необхідної частки сухих речовин і проводять первинне висушування;
- осадження та доведення активності препарату. Ферменти осаджують відповідними реагентами, після чого висушують і стандартизують за показниками активності;

– фасування готового продукту. Очищений ферментний препарат розподіляють у споживчу або транспортну тару.

1.3 Характеристика комплексів устаткування

Технологічна лінія виробництва ферментних препаратів формується з низки функціонально пов'язаних комплексів устаткування, кожен із яких забезпечує виконання окремих етапів процесу. Початкову стадію представляє комплекс підготовки та первинної обробки сировини, до складу якого входять пристрої для пневматичного розвантаження, екстракційні апарати, стікачі, шнекові преси, стрічкові вакуум-фільтри та змішувальні агрегати. Для забезпечення необхідного температурного режиму в цьому комплексі використовуються нагрівальні колонки, апарати витримки та теплообмінне обладнання [3].

Біотехнологічний етап реалізується окремим комплексом, який об'єднує інокуляційне обладнання та виробничі ферментатори. Саме на цій ділянці здійснюється введення посівного матеріалу, контроль росту мікроорганізмів і синтез цільових ферментів у рідкому середовищі за заданих параметрів температури, рН та аерації.

Подальша обробка культуральної маси здійснюється за допомогою комплексу механічного розділення і сушіння, до складу якого входять камерні фільтр-преси та барабанні сушарки. Це обладнання забезпечує ефективне зневоднення та підготовку напівфабрикатів до наступних операцій.

Окремий комплекс призначений для очищення, класифікації та підготовки продукту до фасування. Він включає сепараційне обладнання, а також машини для дозування, пакування і герметизації ферментних препаратів у споживчу або транспортну тару.

Ключовим елементом усієї технологічної лінії є комплекс концентрування і термічної обробки, до складу якого входять вакуум-випарні установки та сушильні апарати розпилювального або сублимаційного типу. Саме на цьому етапі

досягається необхідна концентрація активних речовин і стабілізація ферментної активності.

Завершальні операції реалізуються за допомогою комплексу безперервного осадження, обладнання для попереднього обсушування, центрифуг, барабанних вакуум-сушарок, а також установок для подрібнення та однорідного змішування готового продукту. Фінальною ланкою технологічної схеми є фасувальні машини, які забезпечують підготовку ферментних препаратів до зберігання та реалізації [3].

1.4 Будова і принцип дії лінії

Функціонування технологічної лінії ґрунтується на поетапній підготовці компонентів живильного середовища з урахуванням їх фізико-хімічного складу та регламентованих концентрацій. Одним із основних джерел вуглецевого живлення є буряковий жом, який після подачі через пристрій розвантаження та систему очищення повітря надходить на вагове дозування, а згодом спрямовується до екстракційного апарата. Отриманий у процесі екстрагування розчин транспортується насосним обладнанням у збірну ємність, після чого піддається механічному віджиманню в шнековому пресі та передається до змішувального вузла [4].

У змішувач додатково подаються мінеральні солі та інші складові живильного середовища. Їх кількість розраховується таким чином, щоб при об'єднанні окремих розчинів була забезпечена необхідна концентрація поживних речовин відповідно до технологічного регламенту. Паралельно здійснюється підготовка екстракту солодових паростків, які після зважування та транспортування гвинтовим підйомником надходять до екстрактора. Суспензія, що утворюється, піддається фільтруванню на стрічковому вакуум-фільтрі, де промивні води збираються в окрему ємність, а тверда фаза відводиться в накопичувальний бункер.

Система вакуум-фільтрації оснащена допоміжним обладнанням у вигляді барометричного конденсатора, пастки та барометричного ящика, що забезпечують стабільний режим роботи. Очищений фільтрат солодових паростків насосом перекачується до приймальної ємності, а звідти – до спільного змішувача, де формується однорідна поживна суміш. Підготовлене живильне середовище надходить до збірника, після чого послідовно проходить стадії стерилізації, теплової витримки з нагріванням до температури близько 130 °С та подальшого охолодження у теплообмінних апаратах [4].

Охолоджене до робочої температури живильне середовище подається у ферментатор, заповнюючи його приблизно на три чверті об'єму. Для ініціювання біосинтетичного процесу в середовище вводять посівну культуру, підготовлену в окремому апараті. Внесення інокуляту здійснюється через систему розпилення, що забезпечує рівномірний розподіл мікроорганізмів у рідкій фазі. Ферментатор оснащений багатоступеневою системою очищення повітря, а також пристроями для стерилізації та дозування піногасника. Атмосферне повітря перед подачею в апарат очищується від механічних домішок, стискається та охолоджується.

Тривалість культивування визначається видом продуцента та режимами подачі поживних речовин. Після завершення процесу ферментації культуральна рідина, що містить біомасу мікроорганізмів та розчинені продукти синтезу, охолоджується в теплообміннику і накопичується в проміжній ємності. Подальше розділення фаз здійснюється в камерному фільтр-пресі, де біомаса відокремлюється і спрямовується на сушіння та фасування, а рідка фаза надходить до системи сепараторів для очищення.

Перед стадією концентрування культуральну рідину підігривають до температури 95-100 °С і подають у вакуум-випарну установку. У процесі випаровування вміст сухих речовин доводиться приблизно до 40 %, а утворений конденсат відводиться в окрему збірну ємність. Отриманий рідкий концентрат накопичується в резервуарі та може бути спрямований на сушіння у розпилювальній або сублимаційній сушарці. Після сушіння порошкоподібний

продукт уловлюється циклоном і рукавним фільтром та надходить у бункер готового препарату.

Подальша обробка ферментного препарату передбачає його осадження у безперервному режимі з використанням етанолу, який дозується з мірної ємності. Осад після цього піддається попередньому обсушуванню, центрифугуванню та остаточному зневодненню в барабанній вакуум-сушарці. Висушений продукт подрібнюється, накопичується в бункері, змішується з наповнювачами та проходить контрольне зважування.

Завершальною операцією є фасування ферментних препаратів у стандартну тару. Дозування здійснюється автоматично у фасувальній машині з формуванням споживчих упаковок масою 0,5 кг.

1.5 Параметри технологічного процесу

Стабільність та ефективність виробництва ферментних препаратів значною мірою визначаються дотриманням регламентованих технологічних параметрів на всіх етапах процесу. Відхилення температури, концентрації поживних речовин, кислотності середовища, параметрів аерації та вологості можуть призводити до зниження активності ферментів, порушення росту мікроорганізмів-продуцентів або погіршення якості готового продукту [4].

Особливо важливим є контроль параметрів під час глибинного культивування, оскільки біосинтетичні процеси чутливі до зміни умов середовища. На стадіях фільтрації, концентрування та сушіння необхідно забезпечувати стабільні режими роботи обладнання для збереження ферментативної активності та досягнення нормативних показників вологості і концентрації сухих речовин.

Основні параметри технологічного процесу, їх допустимі межі та допустимі відхилення наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри

№	Назва параметра	Допустимі межі	Допустиме відхилення
1	Вологість повітря у виробничих приміщеннях	60-70 %	±10 %
2	Концентрація сухих речовин у культуральній рідині	0-40 %	±5 %
3	Ступінь очищення у фільтрах	75-80 %	±5 %
4	Температура стерилізації живильного середовища	125-130 °C	±3 °C
5	Температура живильного середовища перед ферментацією	28-32 °C	±1 °C
6	Температура культивування у ферментаторі	30-37 °C	±1 °C
7	Значення рН культурального середовища	5,5-7,0	±0,2
8	Рівень заповнення ферментатора	70-75 %	±5 %
9	Температура культуральної рідини перед випаровуванням	95-100 °C	±2 °C
10	Кінцева вологість готового ферментного препарату	6-10 %	±2 %

1.6 Вимоги до систем автоматизації

Технологічний процес виробництва ферментних препаратів характеризується багатостадійністю, наявністю біотехнологічних операцій та підвищеною чутливістю до відхилень основних параметрів. У зв'язку з цим система автоматизації повинна відповідати комплексу обов'язкових вимог, спрямованих на забезпечення стабільності процесу, безпеки експлуатації

обладнання та отримання продукції з гарантованими показниками якості.

Зокрема, система автоматизації повинна забезпечувати:

- автоматичне підтримання заданих температурних режимів під час стерилізації живильного середовища з метою забезпечення необхідного рівня мікробіологічної чистоти;

- стабілізацію температури живильного середовища перед подачею у ферментатор шляхом автоматичного керування теплообмінним обладнанням;

- автоматичне регулювання температури культивування у ферментаторі для створення оптимальних умов росту та метаболічної активності мікроорганізмів-продуцентів;

- підтримання заданого значення рН культурального середовища в автоматичному режимі без участі оператора;

- автоматичне утримання встановленого рівня заповнення ферментатора з використанням датчиків рівня та регулюючих органів;

- контроль та регулювання параметрів аерації, зокрема витрати і тиску повітря, для забезпечення інтенсивного масообміну в процесі глибинного культивування;

- автоматичне підтримання температури культуральної рідини перед стадією випаровування з метою забезпечення ефективного концентрування;

- контроль ступеня очищення культуральної рідини на фільтрувальних установках та своєчасну сигналізацію у разі відхилення від нормативних значень;

- автоматизований контроль вологості готового ферментного препарату на стадії сушіння для збереження його ферментативної активності;

- безперервний моніторинг стану основного технологічного обладнання з формуванням аварійної та попереджувальної сигналізації у випадку виходу параметрів за допустимі межі.

Висновки до розділу 1

Сформульовано основні вимоги до системи автоматизації технологічного процесу виробництва ферментних препаратів, дотримання яких забезпечує стабільність технологічних режимів і якість готової продукції. Підкреслено необхідність безперервного контролю та автоматичного регулювання ключових параметрів, зокрема температури, рН, рівня, тиску, вологості та концентрації сухих речовин.

Реалізація системи автоматизованого керування технологічним процесом дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити безпеку експлуатації обладнання та створює передумови для вибору структури керування і технічних засобів автоматизації, що відповідають сучасним вимогам біотехнологічних виробництв.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Технологічний процес виробництва ферментних препаратів доцільно розглядати як узагальнений об'єкт керування, у якому між вхідними керувальними впливами, вихідними керованими параметрами та збурюючими факторами існують складні функціональні взаємозв'язки. Такий підхід дозволяє формалізувати процес та є основою для подальшого синтезу системи автоматизованого керування.

На рисунку 2.1 наведено схему параметрів технологічного процесу виробництва ферментних препаратів.

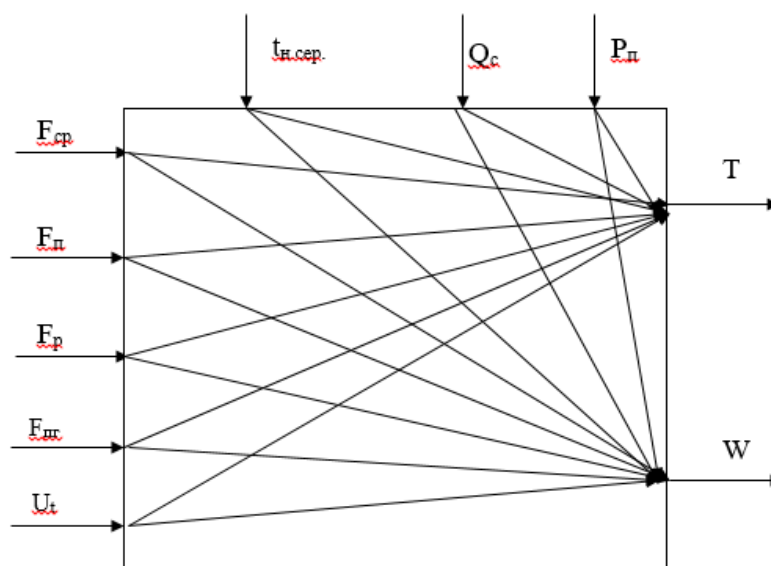


Рисунок 2.1 – Схема параметрів процесу нейтралізації

Вхідні параметри:

$F_{сп}$ – витрата живильного середовища;

$F_{п}$ – витрата стерильного повітря на аерацію;

$F_{р}$ – витрата реагентів для корекції рН;

$F_{пг}$ – витрата піногасника;

U_t – керуючий вплив на систему нагріву та охолодження.

Вихідні параметри:

T – температура культурального середовища;

W – вологість готового ферментного препарату.

Збурюючі впливи:

$t_{н.сер.}$ – температура навколишнього середовища;

Q_c – якість і склад сировини;

$P_{п}$ – зміни параметрів повітря, що подається на аерацію.

Висновки до розділу 2

Проведений аналіз показав, що технологічний процес виробництва ферментних препаратів являє собою складний об'єкт керування, у якому одночасно діють численні керувальні впливи, контрольовані параметри та зовнішні фактори. Взаємозалежність між цими величинами зумовлює необхідність системного підходу до опису процесу та визначення ключових параметрів, що підлягають автоматизованому контролю.

Сформована схема параметрів дозволяє структуровано представити взаємодію між елементами технологічного процесу та оцінити вплив збурюючих чинників на його перебіг. Отримане подання об'єкта керування створює передумови для подальшої розробки ефективної системи керування, вибору оптимальних контурів регулювання та обґрунтування застосування сучасних технічних засобів автоматизації.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Автоматизація процесу виготовлення ферментних препаратів реалізується з централізованого щита керування. Запуск електродвигуна насоса здійснюється оператором за допомогою кнопки керування. Подача концентрату культуральної рідини до розпилювальної сушарки 1 регулюється за допомогою керованого вентиля 1-5, що дозволяє встановлювати необхідну витрату продукту на сушіння.

У розпилювальній сушарці 1 встановлено датчик температури TE 2-1, сигнал з якого після підсилення надходить до контролера, а також датчик вологості ME 1-1, призначений для контролю ступеня висушування матеріалу. Робота сушарки забезпечується електродвигуном, який запускається залежно від сигналів, отриманих з датчиків температури та вологості. Регулювання температурного режиму здійснюється шляхом подачі гарячого повітря через електромагнітний клапан NS 2-4.

Після завершення процесу сушіння висушений ферментний препарат транспортується через циклон 2 і рукавний фільтр 3 до бункера 4. Приводи циклона та фільтра вмикаються за допомогою електродвигунів, керування якими здійснюється пускачами NS 3-5 та NS 3-7. Рівень готового препарату в бункері 4 контролюється датчиком рівня LE 3-1, сигнал з якого надходить до контролера для подальшої обробки.

До апарата безперервного осідання подається висушений концентрат разом зі спиртом. Підтримання заданого рівня спирту здійснюється за допомогою регульованого датчика рівня LE 5-1 та пускача NS 5-3. Загальний рівень рідин в апараті безперервного осідання автоматично підтримується контуром, до складу якого входять датчик рівня LE 4-1 та електроклапан NS 4-4.

Осілий концентрат через керований вентиль 6-4 подається до сепаратора 7. Контроль рівня продукту в сепараторі здійснюється за допомогою датчика LE 6-1,

а регулювання подачі електроклапаном NS 4-4, що забезпечує стабільну роботу апарата.

В апараті сушіння 8 встановлено датчик температури TE 8-1, сигнал з якого передається до контролера, а також датчик вологості ME 7-1, призначений для контролю якості сушіння осаду. Привід сушильного апарата здійснюється електродвигуном, який запускається за допомогою пускача NS 7-5. До контуру регулювання температури входять датчик TE 8-1 та пускач NS 8-3.

Подача сушеного осаду до центрифуги 9 виконується через регульований вентиль 14-2, керування яким здійснюється контролером. Привід центрифуги реалізується електродвигуном, що запускається пускачем 15-1. Після центрифугування осад надходить до барабанної вакуум-сушарки 10, у якій встановлено датчик температури TE 9-1 та датчик вологості ME 10-1. Керування відповідними параметрами здійснюється пускачами NS 9-3 та NS 10-3.

Подальша обробка ферментного осаду передбачає його подрібнення в подрібнювачах 11, приводи яких керуються пускачами 16-1 та 17-1. Контроль маси продукту на вагах 13 здійснюється за допомогою датчиків маси WE 11-1 та WE 12-1. Рівень ферментного препарату в змішувачі 14 контролюється датчиком рівня LE 13-1, сигнал з якого передається до контролера і далі на пускач NS 13-3, що забезпечує автоматизоване керування процесом змішування.

Висновок до розділу 3

Розроблена функціональна схема автоматизації забезпечує комплексний контроль і керування основними стадіями процесу виготовлення ферментних препаратів від подачі та сушіння концентрату культуральної рідини до осадження, зневоднення, подрібнення й змішування готового продукту. Застосування системи датчиків температури, вологості, рівня та маси у поєднанні з виконавчими механізмами дозволяє підтримувати технологічні параметри в заданих межах і забезпечує стабільність перебігу процесу.

Реалізація автоматизованого керування приводами обладнання, регульованими вентилями та електромагнітними клапанами зменшує вплив людського фактора, підвищує безпеку експлуатації та сприяє отриманню ферментних препаратів із заданими показниками якості. Запропонована схема створює передумови для подальшої інтеграції сучасних засобів контролю та оптимізації технологічного процесу.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1 Обґрунтування вибору датчиків

Для вимірювання маси сипких і рідких речовин у технологічному процесі доцільно застосувати вимірювальний перетворювач SVS 2000, який призначений для роботи з тензодатчиками типу КМ (Load Cell, Microcell), що можуть монтуватися як безпосередньо на металеві конструкції місткостей, так і під їх опорні елементи (Load Stand, Load Disc, Load Link). Пристрій підтримує також підключення тензодатчиків інших виробників, що підвищує його універсальність [5].

SVS 2000 оснащений вбудованою мембранною клавіатурою та рідкокристалічним дисплеєм, який забезпечує відображення поточного значення маси у цифровій або графічній формі, а також повідомлень меню та діагностичних повідомлень. Конструкція корпусу з класом захисту IP65 дозволяє використовувати пристрій у виробничих умовах з підвищеною запиленістю та вологістю, із можливістю настінного або панельного монтажу [5].

Важливою перевагою SVS 2000 є застосування цифрової системи фільтрації SENTRY™, яка компенсує вплив механічних вібрацій місткості на результати зважування. Це забезпечує стабільність показів навіть за наявності коливань конструкції, що характерно для промислових умов експлуатації.

Модульна архітектура пристрою та наявність стандартних інтерфейсів зв'язку (RS-485, DeviceNet, Allen-Bradley RIO) дозволяють інтегрувати SVS 2000 у сучасні системи автоматизованого керування на базі програмованих логічних контролерів. Налаштування та введення в експлуатацію значно спрощені завдяки функції Quick Config, яка забезпечує швидке калібрування системи з мінімальними часовими витратами.

З урахуванням наведених характеристик SVS 2000 є доцільним вибором для систем автоматизації процесів зважування у виробництві ферментних препаратів. Основні технічні характеристики наведені в додатку Б, таблиці Б.1 [5].

Датчик температури Endress+Hauser TMR31-RTD з виходом 4-20 мА є промисловим пристроєм для вимірювання температури у технологічних процесах. Він побудований на основі платиного термометра опору (Pt100), що забезпечує високу точність і стабільність вимірювань у широкому діапазоні температур. Завдяки аналоговому вихідному сигналу 4-20 мА датчик легко інтегрується з контролерами та системами PLC/SCADA без використання додаткових перетворювачів, а його компактний корпус з високим ступенем захисту дозволяє експлуатувати пристрій у агресивних виробничих умовах. Модель має захист класу IP67 і може монтуватись безпосередньо в технологічні вузли, де потрібно контролювати температуру рідин або газів [6].

Пристрій оснащений надійною конструкцією та підтримує стандартні процесні з'єднання, що робить його універсальним для різних застосувань: від контролю температури у ферментаторах і теплообмінниках до підтримання режимів у сушильних апаратах. Наявність стабільного вихідного сигналу, а також можливість налаштування параметрів дозволяють використовувати цей датчик у автоматизованих системах керування із високою точністю й мінімальними похибками.

Основні технічні характеристики наведені в додатку Б, таблиці Б.2.

Датчик рівня Industrial Capacitive Water Level Sensor реалізує метод ємнісного контролю, за якого електрична ємність вимірювального елемента змінюється залежно від висоти заповнення резервуара рідиною. Отримане вимірювальне значення перетворюється у стандартизований аналоговий сигнал 4-20 мА, що забезпечує безперервну передачу інформації про рівень до систем автоматизованого керування. Такий тип вихідного сигналу дозволяє здійснювати пряме підключення до програмованих логічних контролерів та SCADA-систем без застосування додаткових узгоджувальних пристроїв, а також гарантує високу стійкість до електромагнітних завад на промислових об'єктах [7].

Конструктивне виконання сенсора забезпечує малу інерційність та стабільність показів у широкому діапазоні робочих температур. Корпус датчика з класом захисту IP65 дозволяє експлуатувати його в умовах підвищеної вологості та запиленості, характерних для виробничих приміщень. Завдяки цим властивостям датчик може ефективно використовуватись у резервуарах, накопичувальних ємностях і технологічних баках, де необхідний постійний автоматизований контроль рівня робочих середовищ.

Технічні характеристики вибраного датчика описані в додатку Б, таблиці Б.3.

Датчик вологості Hygroclip HC2A-S призначений для безперервного вимірювання відносної вологості повітря та газових середовищ у промислових умовах. Завдяки стабільному аналоговому виходу 4-20 мА датчик легко інтегрується у системи автоматизації на базі ПЛК та модулів серії I-7000, що застосовані у даній роботі. Висока точність і швидкодія дозволяють використовувати його для контролю процесів сушіння, де параметр вологості безпосередньо впливає на якість готового ферментного препарату [8].

Технічні характеристики вибраного датчика описані в додатку Б, таблиці Б.4.

4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів

У технологічному процесі виготовлення ферментних препаратів електромагнітні клапани застосовуються для автоматичного керування подачею культуральної рідини, піногасника, спирту для осадження, а також допоміжних потоків води та повітря. Для реалізації цих функцій доцільно використати електромагнітний клапан прямої дії Burkert Type 6213, який забезпечує надійне та швидке перекриття потоку за керуючим сигналом від програмованого логічного контролера. Його використання дозволяє точно дозувати рідини на окремих стадіях процесу, зокрема під час сушіння та осадження ферментного препарату [9].

Клапан Burkert Type 6213 легко інтегрується в систему автоматизації завдяки сумісності зі стандартними рівнями напруги керування, що застосовуються в щитах керування технологічною лінією. Конструктивне виконання клапана забезпечує стабільну роботу в умовах підвищеної вологості та змінних температур, характерних для виробничих приміщень ферментного виробництва. Матеріали корпусу стійкі до впливу технологічних середовищ, що дозволяє використовувати клапан для керування потоками культуральних розчинів і допоміжних реагентів без ризику корозії або втрати герметичності.

Застосування електромагнітного клапана у складі автоматизованої системи керування дозволяє мінімізувати участь оператора у процесі регулювання потоків, зменшити ймовірність помилок та забезпечити повторюваність технологічних режимів. Надійна та швидкодіюча робота клапана є важливою умовою стабільності технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів і безпосередньо впливає на якість та однорідність готового продукту.

Характеристики електромагнітного клапана наведено в додатку Б, таблиці Б.5.

Для узгодження дискретних виходів програмованого логічного контролера з виконавчими пристроями технологічної лінії (електромагнітні клапани, пускачі двигунів, соленоїди) використовується проміжне реле Finder 38.51 з котушкою постійного струму. Реле керується напругою 10-30 В DC, що повністю відповідає стандартним рівням дискретних виходів промислових контролерів і не потребує додаткових перетворювачів сигналу [10].

Застосування проміжного реле забезпечує електричну розв'язку між низьковольтними колами керування PLC та силовими колами виконавчих механізмів. Це підвищує надійність системи автоматизації, зменшує навантаження на вихідні каскади контролера та дозволяє комутувати навантаження з більшими струмами і напругами, ніж допускають безпосередньо дискретні виходи PLC [10].

Реле Finder 38.51 монтується на стандартну DIN-рейку, має компактні габарити та змінні контактні групи, що робить його зручним для використання в

шафах керування автоматизованих технологічних процесів. Воно широко застосовується у харчовій, біотехнологічній та хімічній промисловості для керування клапанами подачі середовищ, пускачами електродвигунів, насосів і вентиляторів.

Характеристики контактора у розширеному вигляді наведено в додатку Б, таблиці Б.6.

4.3 Обґрунтування вибору контролера

Для побудови системи автоматизованого керування процесом виробництва ферментних препаратів обрано промислові контролери серії IPC-7000, які забезпечують виконання функцій збору вимірювальної інформації, формування керувальних сигналів та передачі даних між рівнями системи керування. Контролери цієї серії орієнтовані на експлуатацію в умовах промислових об'єктів, характеризуються модульною побудовою та підтримкою стандартних інтерфейсів обміну даними [11].

Контролер IPC-7017 доцільно використовувати як універсальний модуль введення аналогових сигналів. Він забезпечує прийом інформації від датчиків температури, рівня та інших технологічних параметрів з уніфікованими аналоговими виходами. Використання даного контролера дозволяє здійснювати точне перетворення аналогових сигналів у цифрову форму та передавати їх каналами промислового зв'язку до центрального вузла керування або операторської станції (характеристики IPC-7017 в додатку В, таблиці В.1) [12].

Для формування дискретних керувальних впливів на виконавчі механізми технологічної лінії доцільно застосувати контролер IPC-7053, який забезпечує керування електромагнітними клапанами, проміжними реле та пускачами електродвигунів. Застосування цього контролера дозволяє реалізувати логіку роботи технологічного обладнання, автоматизувати пуско-зупинні режими та забезпечити виконання захисних і блокувальних функцій (характеристики IPC-7053

в додатку В, таблиці В.2) [13].

З метою організації надійного обміну інформацією між контролерами серії ІРС-7000 та персональним комп'ютером або системою диспетчерського керування використовується модуль перетворення інтерфейсів RS-232 ↔ RS-485 ІРС-7520. Застосування такого модуля дозволяє збільшити дальність передавання даних, підвищити завадостійкість каналу зв'язку та забезпечити об'єднання декількох пристроїв у єдину промислову мережу (характеристики ІРС-7017 в додатку В, таблиці В.3) [14].

Використання контролерів ІРС-7017 і ІРС-7056 у поєднанні з перетворювачем інтерфейсів ІРС-7520 забезпечує створення надійної та масштабованої системи автоматизованого керування технологічним процесом виробництва ферментних препаратів. Запропоноване технічне рішення дозволяє ефективно реалізувати функції збору даних, керування виконавчими пристроями та взаємодії з верхнім рівнем системи.

Висновки до розділу 4

На основі вимог технологічного процесу та умов експлуатації обладнання здійснено обґрунтований добір технічних засобів автоматизації, які забезпечують контроль і керування основними параметрами виробництва ферментних препаратів. Обрані первинні перетворювачі температури, рівня та маси з уніфікованими аналоговими сигналами 4-20 мА дозволяють отримувати стабільну та достовірну інформацію про стан технологічного процесу та використовувати її для реалізації автоматичних режимів керування.

Для формування керувальних впливів у системі застосовано електромагнітні клапани та проміжні реле, що забезпечують автоматичне регулювання подачі технологічних середовищ і керування роботою електроприводів. Використання зазначених виконавчих пристроїв сприяє підвищенню надійності функціонування

технологічної лінії, зменшенню впливу людського фактора та покращенню умов безпечної експлуатації обладнання.

Використання модульних контролерів серії IPC-7000, зокрема IPC-7017, IPC-7056 та перетворювача інтерфейсів IPC-7520, забезпечує побудову ефективної та легко масштабованої системи автоматизованого керування. Запропонована конфігурація дозволяє інтегрувати вимірювальні та виконавчі елементи в єдину систему, реалізувати алгоритми керування технологічним процесом і забезпечити надійний обмін даними між рівнями автоматизації.

РОЗДІЛ 5

ОБҐРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

5.1 Опис принципової електричної схеми підключення датчиків та виконавчих елементів до контролера

Принципова електрична схема системи автоматизації процесу виготовлення ферментних препаратів передбачає централізований збір вимірювальної інформації від первинних датчиків та формування керувальних сигналів для виконавчих елементів за допомогою модульних контролерів серії IPC-7000. Усі датчики з уніфікованими аналоговими вихідними сигналами підключені до двох модулів введення аналогових сигналів I-7017, які забезпечують аналого-цифрове перетворення та передачу даних до центрального контролера по промисловій мережі [12-14].

До першого модуля I-7017 підключені датчики вологості та рівня, що використовуються для контролю основних стадій сушіння, осадження та змішування ферментного препарату. Зокрема, датчик вологості ME 1-1, встановлений у розпилювальній сушарці, підключений до входу 0, датчик вологості ME 7-1 сушильного апарата – до входу 1, а датчик вологості ME 10-1 барабанної вакуум-сушарки – до входу 2. Контроль рівня продукту та реагентів реалізується за допомогою датчиків LE 3-1, LE 4-1, LE 5-1, LE 6-1 та LE 13-1, які підключені відповідно до входів 3-7 першого модуля I-7017. Таке групування давачів дозволяє здійснювати безперервний контроль матеріальних потоків у ключових апаратах технологічної лінії.

Другий модуль I-7017 використовується для підключення датчиків температури та маси. До входів 0-2 цього модуля підключені температурні датчики TE 2-1, TE 8-1 та TE 9-1, встановлені відповідно в розпилювальній сушарці, апараті сушіння та барабанній вакуум-сушарці. Контроль маси ферментного препарату на вагах реалізується за допомогою датчиків WE 11-1 та WE 12-1, сигнали з яких надходять на входи 3 та 4 другого модуля I-7017. Отримані дані використовуються

для контролю кількості продукту та формування керувальних дій на етапі дозування і змішування.

Принципова електрична схема керування виконавчими механізмами системи автоматизації процесу виготовлення ферментних препаратів побудована на основі дискретних вихідних модулів I-7053, які забезпечують формування керувальних сигналів для пускачів електродвигунів, електромагнітних клапанів та керованих вентилів. Модулі I-7053 отримують команди від центрального контролера та передають їх у вигляді дискретних сигналів на відповідні виконавчі елементи через проміжні реле і пускачі серії NS [12].

До першого модуля I-7053 підключено виконавчі механізми, що забезпечують роботу основних вузлів сушіння, транспортування та осадження ферментного препарату. Зокрема, пускачі NS 1-3 та NS 1-4, підключені до входів 0 та 1, використовуються для керування допоміжними приводами початкової ділянки технологічної лінії. Керування виконавчими елементами сушарки та допоміжного обладнання реалізується за допомогою пускачів NS 2-3, NS 2-4, NS 3-3, NS 3-5 та NS 3-6, які підключені до входів 2-6 відповідно. Пускач NS 4-3, підключений до входу 7, використовується для керування електромагнітним клапаном або приводом апарата безперервного осадження.

Керування подачею спирту, осілого концентрату та роботою сепаратора реалізується через пускачі NS 5-3, NS 6-3 та NS 6-5, підключені до входів 8-10 першого модуля I-7053. Приводи сушильного апарата та пов'язаних з ним виконавчих механізмів керуються пускачами NS 7-3 та NS 8-3, сигнали на які подаються через входи 11 та 12 відповідно. Така схема підключення дозволяє реалізувати автоматичні режими пуску, зупинки та блокування обладнання залежно від стану технологічного процесу.

Другий модуль I-7053 використовується для керування виконавчими механізмами заключних стадій технологічного процесу. До входів 0-2 цього модуля підключені пускачі NS 8-5, NS 9-3 та NS 10-3, які забезпечують керування сушильними та допоміжними агрегатами. Керування подрібнювачами,

змішувачами та транспортними механізмами здійснюється за допомогою пускачів NS 11-3, NS 12-3 та NS 13-3, підключених до входів 3-5 відповідно.

Приводи подрібнювачів та центрифуги підключені до входів 6-9 другого модуля I-7053 через пускачі NS 14-1, NS 15-1, NS 16-1 та NS 17-1. Така структура підключення забезпечує централізоване керування всіма виконавчими механізмами технологічної лінії, електричну розв'язку між силовими та керувальними колами, а також підвищує надійність і безпеку експлуатації обладнання.

Запропонована принципова електрична схема забезпечує повний збір інформації з датчиків технологічного процесу, реалізацію алгоритмів автоматичного керування та надійну взаємодію між вимірювальними і виконавчими елементами системи автоматизації.

5.2 Розрахунок та вибір блока живлення

Для надійного функціонування системи автоматизації процесу виготовлення ферментних препаратів необхідно забезпечити стабільне електроживлення всіх модулів контролера з урахуванням робочого навантаження та резерву потужності. Усі застосовані модулі серії IPC-7000 працюють від уніфікованої напруги 24 V постійного струму, тому вибір блока живлення здійснюється на основі сумарного споживання електричної енергії всіма складовими системи.

У проєктованій системі використовуються такі модулі: I-7017 – 2 шт., I-7053 – 2 шт., I-7520 – 1 шт. (перетворювач інтерфейсів RS-232 ↔ RS-485).

Згідно з технічними характеристиками виробника, енергоспоживання окремих модулів становить:

- I-7017 – приблизно 1,2 Вт;
- I-7053 – приблизно 1,5 Вт;
- I-7520 – приблизно 1,2 Вт.

Сумарна споживана потужність системи визначається як:

$$P_{\text{заг}} = 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 1,5 + 1,2 = 6,6 \text{ Вт.}$$

Відповідно до цього, робочий струм системи при напрузі 24 V DC становить:

$$I = P / U = 6,6 / 24 \approx 0,28 \text{ А.}$$

З метою забезпечення стабільної роботи обладнання, компенсації пускових струмів та можливих коливань навантаження вводиться коефіцієнт запасу 1,5. Тоді розрахунковий струм живлення дорівнює:

$$I_{\text{розр}} = 0,28 \times 1,5 = 0,42 \text{ А.}$$

З урахуванням отриманих результатів обрано промисловий блок живлення Upower UCMR-75W-24V Power Supply, який забезпечує вихідну напругу 24 V DC та має значний запас по струму. Такий вибір дозволяє не лише покрити поточні потреби модулів I-7017, I-7053 та I-7520, а й урахувати споживання підключених датчиків та забезпечити можливість подальшого розширення системи автоматизації без заміни джерела живлення (характеристики в додатку Г, таблиці Г.1) [15].

Застосування блока живлення з резервом потужності підвищує надійність роботи системи, зменшує ризик аварійних відмов та відповідає вимогам промислової експлуатації автоматизованих систем керування [16].

Висновок до розділу 5

Сформовано принципи підключення вимірювальних перетворювачів і виконавчих механізмів до модульних контролерів серії IPC-7000, що забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи автоматизації та коректне виконання функцій контролю і керування технологічним процесом. Розподіл сигналів між модулями введення аналогових параметрів і дискретного керування дозволяє підвищити структурованість системи, зменшити складність обслуговування та забезпечити надійну експлуатацію обладнання в промислових умовах.

На підставі аналізу споживаної потужності модулів I-7017, I-7053 та I-7520 виконано розрахунок параметрів джерела живлення і обґрунтовано вибір блока живлення Upower UCMR-75W-24V Power Supply з вихідною напругою 24 V DC та необхідним запасом по струму. Застосування даного блока живлення забезпечує стабільне електроживлення системи автоматизації, створює резерв для підключення додаткових пристроїв і підвищує надійність та безвідмовність роботи автоматизованого комплексу в цілому.

РОЗДІЛ 6

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

6.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Програмне забезпечення системи автоматизації процесу виготовлення ферментних препаратів реалізує послідовне та узгоджене керування технологічним обладнанням відповідно до заданого алгоритму. Алгоритм функціонування системи управління побудований за принципом поетапного виконання операцій, контролю технологічних параметрів та формування керувальних впливів на виконавчі механізми. Для наочного відображення логіки роботи системи використовуються блок-схеми, які описують послідовність дій контролера та умови переходу між окремими станами процесу.

На початковому етапі алгоритму передбачено ініціалізацію системи та перевірку готовності обладнання. Після подачі живлення контролер здійснює опитування підключених датчиків і перевіряє коректність їх сигналів. Запуск електродвигуна насоса здійснюється за командою оператора з централізованого щита керування. Після цього програмне забезпечення дозволяє подачу концентрату культуральної рідини до розпилювальної сушарки шляхом керування регульованим вентилем 1-5 відповідно до заданого режиму.

Подальша робота алгоритму пов'язана з автоматичним керуванням процесом сушіння. Контролер у циклічному режимі обробляє сигнали з датчика температури TE 2-1 та датчика вологості ME 1-1, порівнюючи їх із заданими уставками. На основі результатів порівняння формується керувальний сигнал на електромагнітний клапан NS 2-4, який регулює подачу гарячого повітря в сушарку. У разі досягнення необхідних значень температури та вологості система переходить до наступного етапу алгоритму.

Після завершення сушіння програмне забезпечення ініціює транспортування готового продукту через циклон і рукавний фільтр до накопичувального бункера. У блок-схемі цей етап реалізований як окремий стан, у якому здійснюється

керування приводами циклона та фільтра через пускачі NS 3-5 і NS 3-7. Контролер безперервно контролює рівень продукту в бункері за сигналом датчика LE 3-1 і, у разі досягнення граничних значень, коригує роботу наступних технологічних вузлів.

Наступним етапом алгоритму є керування процесом безперервного осадження. Програмне забезпечення забезпечує підтримання заданого рівня спирту за сигналом датчика LE 5-1 та керує відповідним пускачем. Одночасно контролюється загальний рівень рідин в апараті осадження за допомогою датчика LE 4-1, на основі чого формується команда на електроклапан NS 4-4. Перехід до подачі продукту в сепаратор здійснюється лише після стабілізації рівнів у апараті, що відображено в блок-схемі у вигляді умовного переходу.

Алгоритм керування сушінням осаду, центрифугуванням і вакуумним сушінням реалізується як послідовність логічно пов'язаних станів. Контролер аналізує сигнали температури та вологості з датчиків TE 8-1, ME 7-1, TE 9-1 і ME 10-1 та формує керувальні дії на відповідні пускачі електродвигунів. Подача продукту до центрифуги та подальших апаратів дозволяється лише за умови виконання всіх технологічних обмежень, передбачених алгоритмом.

Завершальний етап алгоритму включає керування подрібненням, зважуванням і змішуванням ферментного препарату. Програмне забезпечення обробляє сигнали з датчиків маси WE 11-1 і WE 12-1 та рівня LE 13-1, після чого керує приводами подрібнювачів і змішувача через відповідні пускачі. Блок-схема алгоритму на цьому етапі передбачає циклічне виконання операцій до досягнення заданих параметрів маси та рівня, після чого процес переходить у режим очікування або завершення.

Розроблений алгоритм функціонування системи управління забезпечує логічну послідовність виконання технологічних операцій, автоматичний контроль параметрів та безпечне керування виконавчими механізмами. Використання блок-схем дозволяє наочно відобразити структуру програмного забезпечення та спрощує подальшу реалізацію алгоритму в середовищі програмування контролера.

6.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера

Програмне забезпечення системи автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення ферментних препаратів реалізовано в середовищі AdamView, яке призначене для конфігурування, програмування та моніторингу роботи модулів сімейства ADAM (IPC-7000). Дане середовище дозволяє організувати зчитування аналогових і дискретних сигналів, реалізувати алгоритми керування та передавати керувальні команди на виконавчі механізми у режимі реального часу [15].

Усі сигнали, отримані з аналогових тегів AI, передаються на відповідні програмні модулі, реалізовані у блоці Basic Script (SCR). У скриптах описано алгоритми обробки вимірювальної інформації, логіку прийняття рішень, умови переходів між технологічними станами та формування керувальних сигналів. Результатом виконання кожного скрипта є команда, яка передається на блоки DO (Discrete Output) для керування електромагнітними клапанами, пускачами електродвигунів і іншими виконавчими механізмами [16].

Зчитування інформації від первинних вимірювальних перетворювачів здійснюється через функціональні блоки AI (Analog Input), кожному з яких відповідає окремий аналоговий тег. Для контролю рівня в основних технологічних апаратах до каналів AI1-AI5 підключені давачі рівня LE 3-1, LE 4-1, LE 5-1, LE 6-1 та LE 13-1. Значення з цих каналів використовуються для реалізації логіки підтримання рівнів, формування дозволів на подальші операції та запобігання аварійним режимам переповнення або спорожнення апаратів. BasicScript наведені в додатку Д, лістинги Д.1, Д.2, Д.3, Д.4 та Д.5.

Контроль параметрів вологості матеріалу на різних стадіях процесу здійснюється за допомогою аналогових давачів ME 1-1, ME 7-1 та ME 10-1, які підключені відповідно до каналів AI6, AI7 та AI8. Отримані значення використовуються програмним забезпеченням для оцінки ступеня висушування

продукту та коригування режимів роботи сушильного обладнання. Обробка сигналів вологості виконується у програмних скриптах із подальшим формуванням керувальних впливів. BasicScript наведені в додатку Д, лістинги Д.6, Д.7 та Д.8.

Для визначення маси ферментного препарату на етапах зважування до каналів AI9 та AI10 підключені давачі ваги WE 11-1 та WE 12-1. Дані з цих каналів обробляються у програмному коді BasicScript з метою контролю кількості продукту, забезпечення точності дозування та реалізації логіки подальшого транспортування і змішування. BasicScript наведені в додатку Д, лістинги Д.9 та Д.10.

Контроль температурних режимів технологічних апаратів реалізується шляхом підключення давачів температури TE 2-1, TE 8-1 та TE 9-1 до каналів AI11, AI12 та AI13 відповідно. Значення температури постійно аналізуються у програмному забезпеченні BasicScript та порівнюються із заданими уставками. У разі відхилення параметрів від допустимих меж формується відповідна керуюча дія на виконавчі елементи системи. BasicScript наведені в додатку Д, лістинги Д.11, Д.12 та Д.13.

Висновок до розділу 6

У процесі розроблення програмної частини системи автоматизації сформовано алгоритм керування, який забезпечує узгоджену та послідовну роботу технологічного обладнання на всіх етапах виготовлення ферментних препаратів. Побудована блок-схема дозволяє чітко відобразити логіку роботи системи, визначити умови виконання окремих операцій і переходів між технологічними станами, а також взаємозв'язок між вимірюванням параметрів і керуванням виконавчими механізмами.

Реалізація алгоритму у вигляді програми в середовищі AdamView із використанням аналогових входів, програмних скриптів та блоків дискретного керування забезпечує автоматизовану обробку сигналів від первинних давачів і

формування керувальних дій у режимі реального часу. Запропоноване програмне рішення підвищує стабільність технологічного процесу, зменшує вплив людського фактора та забезпечує можливість подальшого вдосконалення і розширення функціональних можливостей системи керування.

РОЗДІЛ 7

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ

Надійність системи автоматизації є одним з визначальних показників її працездатності, оскільки від безвідмовної роботи програмно-технічних засобів залежить стабільність технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів. Зупинка або некоректна робота елементів керування може призвести до порушення температурних і часових режимів, зниження якості готової продукції або виникнення аварійних ситуацій. Тому оцінювання надійності системи керування є важливою складовою інженерного обґрунтування запропонованих технічних рішень [17].

У межах даного розрахунку система автоматизації розглядається як сукупність електронних модулів збору та обробки інформації, комунікаційних пристроїв і джерела живлення, які працюють у нормальних умовах експлуатації без перевантажень. Приймається, що відмови елементів мають випадковий характер, а інтенсивність відмов у часі є сталою. За таких припущень доцільним є використання експоненційного закону розподілу відмов, який широко застосовується для оцінювання надійності електронних систем промислової автоматизації.

Основним інтегральним показником надійності прийнято середній час безвідмовної роботи MTBF (Mean Time Between Failures). Для системи керування, що включає модулі введення-виведення серії IPC-7000 та блок живлення промислового виконання, прийнято усереднене значення MTBF на рівні 40000 годин. На основі цього параметра визначається інтенсивність відмов λ (7.1), яка характеризує імовірність виникнення відмови за одиницю часу та обчислюється як обернена величина до MTBF [17]:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}. \quad (7.1)$$

Підставивши прийняте значення MTBF, отримуємо інтенсивність відмов, яка використовується в подальших розрахунках імовірнісних показників:

$$\lambda = \frac{1}{40000} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Імовірність відмови системи за експоненційним законом для напрацювання t визначається виразом (7.2):

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (7.2)$$

Наприклад, для періоду $t=5000$ год:

$$P(5000) = 1 - e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} = 1 - e^{-0,125} \approx 0,117.$$

Отже, для напрацювання 5000 год імовірність відмови підсистеми керування становить приблизно 11,7 %, а відповідно імовірність безвідмовної роботи:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,125} \approx 0,883.$$

Оцінка впливу температури на надійність. Електронні модулі та блок живлення встановлюються у шафі керування, тому суттєвим фактором є температура всередині шафи. Для оцінки температурного впливу використано коефіцієнт температурної чутливості α , а відносна надійність при температурі T (порівняно з опорною T_0) визначається формулою (7.3):

$$\frac{R(T)}{R(T_0)} = e^{-\alpha(T-T_0)}. \quad (7.3)$$

Для розрахунку приймаємо:

- опорна температура $T_0 = 40$ °C;
- коефіцієнт температурної чутливості $\alpha = 0,015$ 1/°C.

Тоді:

- при 30 °C:

$$R(30)/R(40) = e^{-0,015(30-40)} \approx 1,162,$$

– при 50 °С:

$$R(50)/R(40) = e^{-0,015(50-40)} \approx 0,861,$$

– при 60 °С:

$$R(60)/R(40) = e^{-0,015(60-40)} \approx 0,741.$$

Отримані оцінки демонструють, що підвищення температури в шафі керування погіршує надійність: при зростанні з 40 до 60 °С відносна надійність зменшується приблизно до 0,74, тобто орієнтовно на 26 %. Це підтверджує доцільність вентиляції шафи, правильного розміщення БЖ і забезпечення тепловідведення. Результати розрахунків наведені на рисунках 7.1 та 7.2.

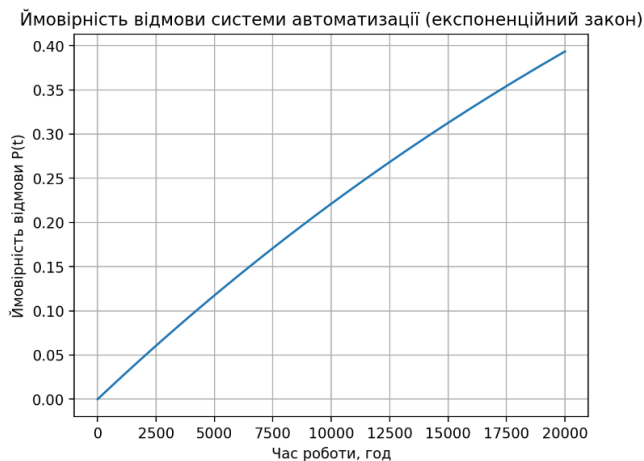


Рисунок 7.1 – Графік імовірності відмови

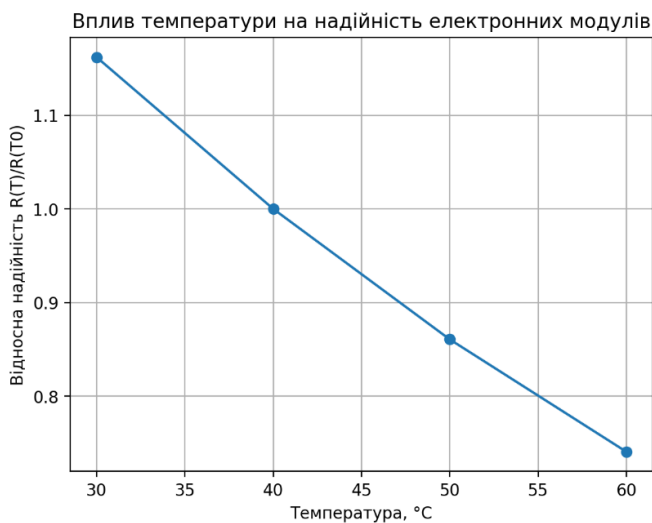


Рисунок 7.2 – Вплив температури на надійність

Висновок до розділу 7

Проведений розрахунок надійності дозволив оцінити працездатність та безвідмовність системи автоматизації виробництва ферментних препаратів упродовж тривалого періоду експлуатації. Використання експоненційної моделі відмов є обґрунтованим для електронних модулів керування та дає можливість кількісно визначити ймовірність відмови і безвідмовної роботи системи за заданого напрацювання. Отримані результати свідчать про достатньо високий рівень надійності обраних технічних засобів автоматизації.

Аналіз впливу температурного режиму показав, що підвищення температури експлуатації негативно позначається на надійності електронних компонентів, що підтверджує необхідність забезпечення ефективного тепловідведення та вентиляції шафи керування. Загалом розрахунок підтверджує доцільність використання запропонованої системи автоматизації в промислових умовах та обґрунтовує прийняті технічні рішення з точки зору безпеки, стабільності роботи й довговічності обладнання.

РОЗДІЛ 8

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЩИТІВ, ПУЛЬТІВ І ЗАСОБІВ МОНТАЖУ

Для розміщення та експлуатації технічних засобів автоматизації технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів передбачено використання централізованого щита керування. Застосування щита відповідає вимогам чинних нормативних документів та забезпечує безпечну, надійну й зручну експлуатацію електротехнічного обладнання в умовах промислового виробництва.

Конструкція та виконання щита керування обираються з урахуванням вимог ДСТУ EN 61439-1:2017 та ДСТУ EN 61439-2:2017, які регламентують загальні вимоги та вимоги до низьковольтних комплектних пристроїв керування і розподілу. Згідно з цими стандартами, щит повинен забезпечувати механічну міцність, електричну безпеку, захист від дотику до струмоведучих частин та відповідний рівень електромагнітної сумісності [18].

У щиті керування розміщуються всі модулі програмованого логічного контролера серії IPC-7000, блок живлення постійного струму, пускачі виконавчих механізмів та елементи світлової сигналізації. Всього в щиті встановлено 23 пускачі, які забезпечують комутацію силових ланцюгів електродвигунів і електромагнітних клапанів. Таке рішення відповідає вимогам ДСТУ EN 60204-1:2015 «Безпечність машин. Електрообладнання машин», яке визначає правила побудови електричних схем керування та вимоги до апаратури комутації.

Для індикації режимів роботи системи передбачено встановлення трьох сигнальних ламп, що інформують про наявність живлення, нормальний режим роботи та аварійний стан. Використання світлової сигналізації відповідає вимогам ергономіки та підвищує оперативність реагування обслуговуючого персоналу у разі відхилень від нормального режиму роботи [18].

Живлення елементів автоматизації здійснюється від промислового блока живлення, розміщеного безпосередньо в щиті керування. Таке компонування відповідає вимогам ДСТУ EN 61131-2:2016, що регламентує електричні параметри

живлення та умови експлуатації програмованих логічних контролерів і пов'язаних з ними пристроїв.

Для монтажу обладнання в щиті застосовано стандартні DIN-рейки, кабельні канали та марковані клемні з'єднання. Даний спосіб монтажу відповідає вимогам ДСТУ EN 60715:2014 щодо монтажних рейок і забезпечує впорядковане прокладання провідників, зручність технічного обслуговування та можливість подальшого розширення системи автоматизації [18].

Загалом вибір щита керування, пультів та засобів монтажу виконано з урахуванням вимог чинних ДСТУ, що гарантує електробезпеку, надійність і довговічність системи керування, а також створює умови для стабільної та безперервної роботи автоматизованого технологічного комплексу.

Висновок до розділу 8

У дипломній роботі з автоматизації технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів обґрунтовано вибір щита керування, у якому зосереджено модулі контролера серії IPC-7000, блок живлення, пускачі виконавчих механізмів і засоби світлової сигналізації, що забезпечує централізоване та надійне керування основними стадіями виробництва. Прийняті конструктивні й монтажні рішення відповідають вимогам чинних ДСТУ, враховують умови експлуатації виробничого середовища та забезпечують електробезпеку, зручність обслуговування і можливість подальшого розширення системи автоматизації, що підтверджує їх технічну доцільність у межах поставлених завдань дипломної роботи.

РОЗДІЛ 9

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Під час експлуатації автоматизованої системи керування процесом виготовлення ферментних препаратів особлива увага приділяється забезпеченню безпечних умов праці персоналу та мінімізації ризиків виникнення аварійних ситуацій. Робочі місця оператора та обслуговуючого персоналу повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів у галузі охорони праці, електробезпеки та промислової безпеки.

У процесі експлуатації технологічної лінії можливий вплив таких небезпечних і шкідливих факторів: підвищена температура поверхонь сушильного обладнання, наявність рухомих частин механізмів (електродвигуни, центрифуги, подрібнювачі), електрична напруга в силових і керуючих колах, підвищений рівень шуму, а також запиленість повітря робочої зони. Крім того, використання спирту на стадії осадження створює додаткову пожежну небезпеку [19].

Для зменшення впливу зазначених факторів передбачено комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки праці.

Система автоматизації живиться від мережі змінного струму з подальшим перетворенням напруги до 24 В постійного струму для живлення модулів керування та датчиків, що знижує ризик ураження електричним струмом. Усі елементи електрообладнання розміщені в щиті керування з класом захисту IP54, що запобігає доступу персоналу до струмоведучих частин [19].

Передбачено захисне заземлення металевих корпусів обладнання, використання автоматичних вимикачів і запобіжників для захисту від коротких замикань та перевантажень. Обслуговування електрообладнання дозволяється лише кваліфікованому персоналу, який пройшов відповідне навчання та інструктаж.

Рухомі та обертові частини механізмів обладнані захисними кожухами, що унеможлиблює прямий контакт працівників з небезпечними зонами. Запуск і

зупинка технологічного обладнання здійснюється централізовано з пульта керування, що зменшує необхідність безпосереднього перебування персоналу біля працюючих механізмів.

Автоматизація процесу дозволяє знизити вплив людського фактора, оскільки контроль температури, вологості, рівня та інших параметрів здійснюється в автоматичному режимі з використанням програмованого логічного контролера.

З урахуванням використання горючих речовин (спирт) та підвищених температур у сушильному обладнанні приміщення повинно бути оснащено первинними засобами пожежогасіння, зокрема порошковими або вуглекислотними вогнегасниками. Електрообладнання вибрано у виконанні, що відповідає вимогам пожежної безпеки, а кабельні лінії прокладені в негорючих кабельних каналах.

Передбачено дотримання встановлених протипожежних розривів, регулярний контроль стану електропроводки та заборону використання відкритого вогню в зоні розміщення технологічного обладнання.

У разі виникнення надзвичайних ситуацій, таких як аварійне відключення електроживлення, перегрів обладнання або витік спирту, система автоматизації забезпечує перехід технологічної лінії в безпечний стан шляхом відключення виконавчих механізмів і блокування подальшої роботи. Оператор інформується про аварійний стан за допомогою світлової сигналізації [19].

Для персоналу розроблено інструкції дій у надзвичайних ситуаціях, які передбачають порядок евакуації, повідомлення відповідальних осіб та використання засобів індивідуального захисту. Регулярне проведення інструктажів і навчань сприяє зниженню ризику травматизму та матеріальних збитків.

Робоче місце оператора обладнане з урахуванням ергономічних вимог забезпечене достатнім освітленням, нормальними мікрокліматичними умовами та зручним розташуванням органів керування. Дотримання санітарно-гігієнічних норм та режимів праці й відпочинку сприяє збереженню працездатності персоналу та зменшенню професійних ризиків [19].

Висновок до розділу 9

У процесі розроблення автоматизованої системи керування виробництвом ферментних препаратів проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори й визначено комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці персоналу. Запропоновані рішення з електробезпеки, пожежної безпеки та захисту від впливу рухомих і теплових факторів дозволяють знизити ризик травматизму та аварійних ситуацій під час експлуатації обладнання.

Автоматизація технологічного процесу, централізоване керування та використання засобів сигналізації і захисту забезпечують своєчасне реагування на відхилення від нормального режиму роботи та перехід системи у безпечний стан у разі надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 10

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Об'єктом проектування в межах кваліфікаційної роботи є автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення ферментних препаратів. Запропоновані технічні рішення ґрунтуються на застосуванні сучасних засобів промислової автоматизації, які забезпечують безперервний контроль і регулювання основних параметрів процесу, зокрема температури, вологості, рівня, маси та витрат технологічних середовищ. Реалізація автоматизованого керування дозволяє підвищити стабільність біотехнологічних операцій, покращити якість готового ферментного продукту та зменшити втрати сировини й енергоресурсів [20].

Автоматизація процесу виготовлення ферментних препаратів забезпечує точне підтримання регламентованих режимів сушіння, осадження, центрифугування та змішування, що є критично важливим для збереження активності ферментів і забезпечення заданих фізико-хімічних властивостей продукції. Крім того, впровадження автоматизованої системи керування сприяє зменшенню впливу людського фактора, підвищенню рівня безпеки та зниженню експлуатаційних витрат.

З метою оцінки економічної доцільності впровадження системи автоматизації виконано підбір необхідних технічних засобів, до складу яких входять аналогові та дискретні датчики, модулі збору й обробки сигналів, програмований логічний контролер, виконавчі механізми, пускачі, блоки живлення та допоміжне обладнання. Для узагальнення отриманих даних і формування кошторису всі вибрані елементи системи керування зведено до таблиці Е.1 додатку Е, що дозволяє проаналізувати структуру та величину капітальних витрат, необхідних для реалізації автоматизованої системи керування виробництвом ферментних препаратів.

На основі таблиці Е.1 додатку Е визначено, що загальна вартість контрольно-вимірювальних приладів (ВП) становить 277090 грн.

Для врахування додаткових витрат, пов'язаних із закупівлею контрольно-вимірювальних та регулюючих приладів, приймається, що транспортно-заготівельні витрати складають 20 % від їх вартості $V_{Т-З}$ [20]:

$$V_{Т-З} = 277090 * 0,2 = 55418 \text{ грн.}$$

Витрати на виконання монтажних робіт і придбання матеріалів, необхідних для встановлення системи автоматизації, приймаються на рівні 35 % від загальної вартості обладнання. Витрати на монтаж системи автоматизації V_M та монтажні матеріали визначаються як [20]:

$$V_M = 277090 * 0,35 = 96981,5 \text{ грн.}$$

Окрім цього, до складу капітальних витрат включаються витрати на пусконаладжувальні роботи. Їх величина приймається на рівні 15 % від сукупної вартості засобів автоматизації [20]:

$$V_H = 277090 * 0,15 = 41563,5 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні капітальні інвестиції, необхідні для впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення ферментних препаратів, включають вартість обладнання, транспортно-заготівельні витрати, витрати на монтаж і пусконаладження та визначаються шляхом сумування всіх складових [20]:

$$V_K = V_{П} + V_{Т-З} + V_M + V_H = 277090 + 55418 + 96981,5 + 41563,5 = 471053 \text{ грн.}$$

Висновок до розділу 10

Виконане техніко-економічне обґрунтування дозволило визначити загальний обсяг капітальних витрат, необхідних для впровадження автоматизованої системи керування процесом виготовлення ферментних препаратів. До розрахунків включено витрати на придбання контрольно-вимірювальних приладів, модулів керування, виконавчих механізмів, а також витрати на транспортування, монтаж і

пусконалагоджувальні роботи. Отримане значення загальних капітальних вкладень у розмірі 471053 грн свідчить про економічну доцільність впровадження автоматизації, оскільки вона забезпечує підвищення стабільності технологічного процесу, якості продукції та надійності роботи виробничої лінії.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційну роботу виконано відповідно до поставленої мети, спрямованої на розроблення автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення ферментних препаратів. У процесі виконання роботи вирішено всі поставлені завдання та отримано такі основні результати:

- проведено детальний аналіз технологічного процесу виготовлення ферментних препаратів, визначено основні стадії виробництва та параметри, що підлягають автоматизованому контролю і керуванню;

- досліджено технологічний процес як об'єкт керування, визначено вхідні, вихідні та збурюючі впливи, а також оцінено їхній вплив на стабільність роботи системи автоматизації;

- розроблено функціональну схему автоматизації виробничої лінії та обґрунтовано раціональне розміщення датчиків, виконавчих механізмів і допоміжного обладнання;

- виконано вибір і технічне обґрунтування засобів автоматизації, зокрема датчиків температури, вологості, рівня та маси, виконавчих механізмів, а також програмованого логічного контролера на базі модулів серії I-7000;

- розроблено принципові електричні схеми підключення датчиків і виконавчих механізмів до контролера, а також виконано розрахунок і вибір блока живлення з урахуванням необхідного резерву потужності;

- сформовано алгоритм функціонування автоматизованої системи керування та реалізовано програмне забезпечення контролера у середовищі AdamView з використанням мови Basic Script;

- у спеціальній частині виконано розрахунок надійності системи автоматизації, що дало змогу оцінити її безвідмовність та вплив експлуатаційних факторів на працездатність;

- опрацьовано питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей експлуатації технологічного обладнання;

– проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження системи автоматизації та визначено загальний обсяг капітальних витрат 471053 грн, що підтверджує економічну доцільність запропонованих технічних рішень.

Таким чином, усі завдання кваліфікаційної роботи виконано в повному обсязі, а розроблена автоматизована система керування може бути рекомендована для впровадження на підприємствах з виробництва ферментних препаратів з метою підвищення стабільності технологічного процесу, якості продукції та надійності роботи виробничого обладнання.

За результатами виконаних досліджень і розроблення автоматизованої системи керування підготовлено та опубліковано наукову роботу Ткачук Н. О., Сазик В. О., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М. Автоматизація технологічного процесу виробництва ферментних препаратів. *Актуальні проблеми автоматизації та управління*: матер. XIII-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Луцьк, 28 лист. 2025 р.). Вип. 13. Луцьк, 2025. С. 187-191.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пупена О. М., Ельперін І. В. Автоматизація технологічних процесів : підручник. Київ: Ліра-К, 2021. 420 с.
2. Бойко О. Л., Кравчук В. Г. Автоматизовані системи керування технологічними процесами харчової та біотехнологічної промисловості : навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 312 с.
3. Shuler M. L., Kargi F. Bioprocess engineering: basic concepts. 3rd ed. New York: Pearson Education, 2022. 576 p.
4. Ткачук Н. О., Сацик В. О., Смолянкін О. О., Маркіна Л.М. Автоматизація технологічного процесу виробництва ферментних препаратів. *Актуальні проблеми автоматизації та управління*: матер. XIII-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Луцьк, 28 лист. 2025 р.). Вип. 13. Луцьк, 2025. С. 187-191.
5. Датчик маси SVS 2000 URL: https://www.kistlermorse.com/p/controllers/svs2000-controller/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 10.10.2025).
6. Датчик температури Endress+Hauser TMR31-RTD URL: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/temperature-measurement-thermometers-transmitters/Compact-thermometer-easytemp-tmr31?t.tabId=product-overview> (дата звернення: 10.10.2025).
7. Датчик рівня Industrial Capacitive Water Level URL: <https://www.ato.com/capacitive-water-level-sensor> (дата звернення: 10.10.2025).
8. Датчик вологості Hygroclip HC2A-S URL: <https://tekknow.com.ua/uk-ua/datchik-vologosti-temperaturi-rotronic-hc2a-ss3sm> (дата звернення: 10.10.2025).
9. Електромагнітний клапан прямої дії Burkert Type 6213 URL: <https://www.burkert.com/en/type/6213> (дата звернення: 10.10.2025).
10. Проміжне реле Finder 38.51 URL: https://abr.com.ua/finder-catalog/index.php?route=product/product&path=42_43&product_id=618&srsId=AfmBOor6KGDcFYv2i0icpJ-xpFoHWWFWQY6_vkyPladYYGvnpkyuryKBF (дата звернення: 10.10.2025).

11. Контролери серії IPC-7000 URL: <https://tech-farmingshop.com/kontroler-74v1/> (дата звернення: 20.10.2025).

12. Модуль IPC-7017 URL: <https://ipc2u.ua/products/i-7017> (дата звернення: 20.10.2025).

13. Модуль IPC-7053 URL: https://ipc2u.ua/products/i-7053_fg (дата звернення: 20.10.2025).

14. Модуль IPC-7520 URL: <https://inetworks.com.ua/prod14143-icp-das-i-7520.html> (дата звернення: 20.10.2025).

15. Блок живлення Upower UCMR-75W-24V Power Supply URL: <https://ulight.com.ua/ru/upower-ucmr-75w-24v-blok-zhyvlennia-na-din-reiku/?srsltid=AfmBOoqLyXMtfJcLu5NBuNSb3n-912ao4IF7Uj1FfX-WjBcBSdujwqa2> (дата звернення: 20.10.2025).

16. Середовище AdamView URL: https://www.advantech.com/emt/support/details/manual?id=1-1WWOTN&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 20.10.2025).

17. Коваленко Г. І. Теорія та практика забезпечення надійності технічних систем : навч. посіб. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2022. 310 с.

18. Кравченко О. П., Дрозд І. М. Електричні апарати та щитові системи : навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2021. 280 с.

19. Желібо Є. П., Гандзюк М. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ: Знання, 2023. 430 с.

20. Ковальська Л. Л., Кривов'язюк І. В. Економіка підприємства : підручник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 700 с.