

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

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ  
КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА  
ГРАНУЛЬОВАНОГО КОМБІКОРМУ**

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED CONTROL  
SYSTEM FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF GRANULAR FEED  
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

Лисенко Віталій Юрійович \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент

Решетило Олександр Миколайович

\_\_\_\_\_  
(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 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність: 174 Автоматизація комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніка

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри,

\_\_\_\_\_ д.т.н., Повстяной О. Ю.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року

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

Лисенку Віталію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження автоматизованої системи керування технологічним виробництвом гранульованого комбікорму

керівник роботи: к. т. н., доцент, Решетило Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «27» червня 2025 року № 301/01-02

2. Строк подання здобувачем роботи: 12.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічний процес виробництва гранульованого комбікорму.

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 Розрахунок та вибір типу регулятора автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері. 6 Обґрунтування вибору і опис принципів схем автоматизації. 7 Програма функціонування мікроконтролера. 8 Розрахунок економічної ефективності системи автоматизації, що проектується. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу

1 Схема функціональна – формат А1 (2 шт.). 2 Схема електрична принципова – формат А1 (2 шт.). 3 Блок-схеми – формат А1. 4 Програма функціонування контролера – формат А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Теоретична частина</i>	<i>Решетило О. М.</i>		
<i>Аналітична частина</i>	<i>Решетило О. М.</i>		
<i>Рекомендаційна частина</i>	<i>Решетило О. М.</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 добросовісність</i>	<i>Федік Л. Ю.</i>		

7. Дата видачі завдання 28.06.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вибір теми кваліфікаційної роботи</i>	<i>до 27.06.2025 р.</i>	
2.	<i>Стан питання і завдання досліджень</i>	<i>до 02.09.2025 р.</i>	
3.	<i>Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування</i>	<i>до 20.09.2025 р.</i>	
4.	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації</i>	<i>до 01.10.2025 р.</i>	
5.	<i>Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації</i>	<i>до 05.10.2025 р.</i>	
6.	<i>Спеціальна частина</i>	<i>до 07.10.2025 р.</i>	
7.	<i>Обґрунтування вибору і опис принципових схем автоматизації</i>	<i>до 10.10.2025 р.</i>	
8.	<i>Програма функціонування мікроконтролера</i>	<i>до 10.10.2025 р.</i>	
9.	<i>Розрахунок економічної ефективності системи автоматизації, що проектується</i>	<i>до 20.10.2025 р.</i>	
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>до 01.11.2025 р.</i>	
11.	<i>Інструментальна перевірка і експертне оцінювання рівня унікальності тексту</i>	<i>до 05.12.2025 р.</i>	
12.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>до 14.12.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Лисенко В. Ю.

(прізвище та ініціали)

Решетило О. М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Лисенко В. Ю. Розробка та дослідження автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму. 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, восьми розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму. Проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування, та визначено задачі досліджень. Розроблено функціональну схему автоматизації, вибрано технічні засоби автоматизації та промисловий контролер. Розроблено принципову електричну схему з'єднання модулів контролера з датчиками та виконавчими механізмами. Проведено розрахунок та вибір типу регулятора автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері. Для керування автоматизованою системою в автоматичному режимі в середовищі SIMATIC Step7 на мові LAD розроблена програма функціонування контролера. Проведено розрахунок економічної ефективності доцільності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

Об'єм графічної частини магістерської роботи складає 6 листів формату А1 (840 × 594 мм). Обсяг пояснювальної записки становить 72 друковані сторінки.

Магістерська робота містить 11 рисунків, 3 таблиці. Використано 17 літературних джерел та інформація з глобальної мережі Інтернет.

Ключові слова: автоматизована, система, керування, технологічний, процес, виробництво, гранулювання, комбікорм, контролер, програма.

## ANNOTATION

Lysenko V. Development and research of an automated control system for the technological process of granular feed production. Manuscript.

Qualification work of the master of OP «Automation and computer-integrated technologies» specialty 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The master's thesis consists of an introduction, eight chapters, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The qualification work is devoted to the design of an automated control system for the technological process of producing granulated compound feed. The technological process as a control object was analyzed, and research tasks were defined. A functional automation scheme was developed, technical means of automation and an industrial controller were selected. A schematic electrical diagram of the connection of controller modules with sensors and actuators was developed. The calculation and selection of the type of regulator for the automated temperature control system in the press extruder were carried out. To control the automated system in automatic mode in the SIMATIC Step7 environment in the LAD language, a controller operation program was developed. The economic efficiency of the feasibility of implementing the developed automated control system was calculated.

The volume of the graphic part of the master's work is 6 sheets of A1 format (840 × 594 mm). The volume of the explanatory note is 72 printed pages.

The master's thesis contains 11 figures, 3 tables. 17 literary sources and information from the global Internet were used.

Key words: automated, system, control, technological, process, production, granulation, compound feed, controller, program.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Технологічна схема виробництва комбікорму .....	11
1.2 Процесу гранулювання комбікорму .....	15
1.3 Карта технологічного процесу .....	17
1.4 Вимоги до системи автоматизації, що розробляється .....	19
Висновки до розділу 1 та задачі досліджень .....	20
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	21
Висновок до розділу 2.....	22
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	23
Висновок до розділу 3.....	27
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	28
4.1 Обґрунтування вибору датчиків.....	28
4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів .....	28
4.3 Обґрунтування вибору контролера .....	29
4.4 Обґрунтування вибору джерела живлення.....	30
Висновки до розділу 4.....	30
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТИПУ РЕГУЛЯТОРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В ПРЕС-ЕКСТРУДЕРІ .....	32
Висновки до розділу 5.....	36
РОЗДІЛ 6 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	37

Висновок до розділу 6.....	39
РОЗДІЛ 7 ПРОГРАМА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТРОЛЕРА.....	40
7.1 Розробка алгоритмів керування .....	40
7.2 Розробка програми функціонування контролера .....	45
Висновок до розділу 7 .....	47
РОЗДІЛ 8 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ..	48
8.1 Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію .....	48
8.2 Розрахунок експлуатаційних затрат .....	50
Висновок до розділу 8.....	51
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

## ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасні тенденції розвитку агропромислового комплексу передбачають широке впровадження автоматизованих та інтелектуальних систем у всі етапи виробництва. Особливо це стосується галузі виробництва кормів, де стабільність якості продукції та ефективність використання ресурсів мають вирішальне значення для конкурентоспроможності підприємства.

Виробництво гранульованого комбікорму – складний багатостадійний процес, який включає приймання, очищення, подрібнення, змішування, дозування, гранулювання, охолодження та фасування готової продукції. Для забезпечення високої якості комбікорму необхідно точно дотримуватись технологічних режимів, підтримувати оптимальні параметри температури, вологості та продуктивності обладнання.

Ручне керування таким процесом пов'язане з великими витратами праці, високою ймовірністю помилок оператора та неможливістю забезпечення стабільності показників. У зв'язку з цим розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму є надзвичайно актуальною.

Впровадження автоматизації дозволяє:

- підвищити якість і однорідність продукції;
- оптимізувати витрати енергоресурсів і сировини;
- знизити вплив людського фактору;
- забезпечити безперервний контроль параметрів технологічного процесу;
- підвищити продуктивність та надійність роботи обладнання.

Таким чином, створення автоматизованої системи керування є важливим кроком до цифровізації та модернізації кормового виробництва, що відповідає сучасним вимогам енергоефективності, екологічності та стабільної якості продукції.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму, яка забезпечує підвищення ефективності, стабільності та якості виробництва за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання та зменшення впливу людського фактору.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва гранульованого комбікорму.

Предмет дослідження – автоматизована система керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму.

Методи досліджень – опис, аналогія, порівняння, аналіз, синтез, системний підхід.

Задачі дослідження:

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) провести аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму та визначити основні параметри, що впливають на якість продукції;
- 2) розробити структурну схему автоматизованої системи керування та описати її основні функціональні підсистеми;
- 3) обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації (датчиків, контролерів, виконавчих механізмів, засобів візуалізації);
- 4) розробити алгоритм роботи системи керування технологічним процесом;
- 5) створити електричну принципову схему ввімкнення основного технологічного обладнання;
- б) провести аналіз ефективності впровадження розробленої системи.

Джерела інформаційної бази досліджень – відомості про технологічний процес виробництва гранульованого комбікорму.

Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму, дозволить не лише підвищити якість гранульованого комбікорму та продуктивність лінії, а й зменшити енергетичні витрати та кількість води, що використовується у виробничому процесі. Розробка може бути використана для автоматизації технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, як для тварин так і риби.

Наукова новизна – проведений аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, як об'єкта керування, показав, що основними технологічними операціями, що суттєво впливають на якість готової є підтримання тиску та температури перегрітої пари, що подається в прес-екструдер. Проведено розрахунок та вибір типу регулятора автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері.

На основі викладеного матеріалу опублікована стаття в збірнику XIII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління» [1].

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Технологічна схема виробництва комбікорму

«Комбікорм – це складна однорідна суміш очищених та подрібнених до необхідної величини різних кормових засобів і мікродобавок, що виробляється за науково-обґрунтованими рецептами і забезпечує повноцінну годівлю тварин чи птиці.

За призначенням і складом комбікорми поділяють на повнораціонні, концентрати, балансуючі добавки та премікси.

Повнораціонний комбікорм повністю забезпечує потреби тварин і птиці в поживних, мінеральних та біологічно активних речовинах.

Концентрат – це комбікорм з підвищеним вмістом протеїну, мінеральних речовин і добавок. Для забезпечення біологічно повноцінної годівлі тварин він згодовується разом із зерновими, соковитими або грубими кормами.

Балансуючі добавки бувають білкові, білково-вітамінні, білково-вітамінно-мінеральні. Це однорідна суміш подрібнених до необхідної крупності високобілкових кормових засобів і мікродобавок (мінеральні речовини, вітаміни, лікувальні засоби та ін.), які використовуються для виготовлення комбікормів в умовах підприємств. Рецепти добавок розробляють і використовують за вмістом поживних речовин в основних кормах.

Премікс – однорідна суміш подрібнених до необхідної крупності мікродобавок і наповнювача, яку використовують для збагачення комбікормів і виробництва білково-вітамінних добавок.

Комбікорми виробляють у розсипному, гранульованому (у вигляді щільних грудочок певної форми і розмірів) і брикетованому вигляді (плитки геометрично правильної форми і розмірів). Для птиці виробляється комбікормова крупка шляхом подрібнення гранульованого комбікорму.

Основними складовими комбікормів є: фуражне зерно злакових і бобових культур; кормові відходи елеваторів, борошномельно-круп'яних і харчових

підприємств; грубі корми; трав'яне борошно; кормові дріжджі; продукти (відходи) олійно-екстракційного, крохмале-патокового, бродильного, цукрового і гідролізного виробництв; корми тваринного походження; мінеральна сировина; продукти хімічної і мікробіологічної промисловості. Всього сировинна база комбікормової промисловості налічує понад дві тисячі кормових засобів, з яких більше 80 % виробляється безпосередньо у сільському господарстві» [2].

«Рецептура комбікормів розробляється галузевими науково-дослідними установами на основі узагальнення багаторічного науково-господарського досвіду годівлі сільськогосподарських тварин, а також з урахуванням природно-кліматичних особливостей різних регіонів країни. Рецепти є письмовою вказівкою на виготовлення комбікормів. Їм присвоюють номери за видами тварин і птиці. Наприклад, для великої рогатої худоби встановлені такі номери: 60 – дійні корови, 61 – тільні і сухостійні корови, 62 – телята віком від 1 до 6 міс, 63 – молодняк віком від 12 до 18 міс, 65 – велика рогата худоба на відгодівлі і 66 – бугаї-плідники.

Нумерують рецепти двома числами, з яких перше означає вид і групу тварин, а друге – порядковий номер рецепта для даної виробничої групи тварин і птиці. Обидва числа ставлять поряд через тире. Між знаком № і числом (або після числа) ставлять літерні знаки: ПК – повнораціонний комбікорм; К – комбікорм-концентрат; БВД (БВМД) – білково-вітамінні (мінеральні) добавки; ЗМЦ – заміник цільного (незбираного) молока; П – премікси. Наприклад: № ПК 1-123 – повнораціонний комбікорм для курок-несучок з порядковим реєстраційним номером 123.

Рецепти комбікормів і кормових сумішей, що відповідають вимогам місцевих споживачів і постачальників сировини, в кожній зоні можуть бути свої.

Вимоги до якості комбікормів для різних видів і груп тварин та птиці регламентують відповідними стандартами» [2].

Технологічний процес виробництва комбікормів на господарських та міжгосподарських комбікормових підприємствах здійснюється за Правилами організації і ведення технологічного процесу на комбікормових заводах.

Крім інших технологічних операцій, правила передбачають [3]:

- очищення сировини від органічних, мінеральних та металоманітних домішок;
- відокремлення плівок від зернівок вівса та ячменю;
- подрібнення компонентів;
- дозування і змішування компонентів;
- гранулювання або брикетування комбікормів;
- зберігання і відпуск готової продукції.

На рисунку 1.1 приведено технологічну схему виробництва розсипних комбікормів [3].

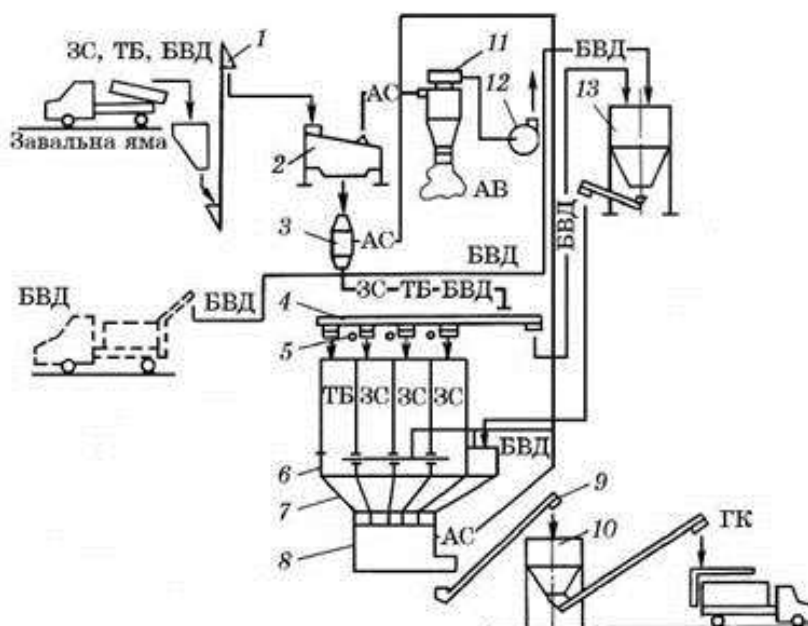


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва комбікормів агрегатом УМК-Ф-2 [3]:

- 1 – норія; 2 – сепаратор; 3 – магнітна колонка; 4 – розподільний шнек;  
 5 – рейкова засувка; 6 – оперативні бункери; 7 – наддозаторні бункери;  
 8 – дробарка; 9 – похилий шнек; 10 – бункер готового корму; 11 – циклон;  
 12 – вентилятор; 13 – бункер для зберігання БВД; ЗС – зернова сировина;  
 ТБ – трав'яне борошно; БВД – білково-вітамінні добавки; ГК – готовий комбікорм; АС – аспіраційна система; АВ – аспіраційні відходи

«Гранулювання комбікормів збільшує їх об'ємну масу, знижує самосортування й розпилення продукту. В гранулах краще зберігаються вітаміни, мікроелементи, антибіотики, що сприяє кращому їх засвоєнню організмом тварин і птиці, а в результаті – підвищенню їх продуктивності. Гранульовані комбікорми виробляють для всіх видів тварин, птиці і риб. Виробляють гранули циліндричної форми діаметром 4,7; 7,7; 9,7; 12,7 та 19 мм. Для гранулювання застосовують установки типу ДГ, Б6-ДГВ та ін. До складу установок входять гранулятор, охолоджувальна колонка, подрібнювач, сепаратор.

Комбікорми гранулюють сухим і вологим способами. Найпоширеніше сухе гранулювання, за якого розсипний комбікорм обробляють сухою парою при температурі 130-140 °С, що подається у змішувач під тиском 0,35-0,40 МПа. Нагрітий до 50-70 °С і зволожений до 15-18 % комбікорм надходить у камеру пресування, де пресувальними роликами продавлюється крізь робочі канали матриці, на виході з яких гранули відрізаються нерухомим ножом. Після преса гранули мають температуру 70-80 °С. Поток повітря вони спрямовуються в охолоджувальну колонку, на виході з якої їх температура має бути не більш як на 10 °С вищою за температуру навколишнього середовища.

При вологому гранулюванні комбікорм зволожується до 30-35 % водою при температурі 70-80 °С, після чого гранули обов'язково підсушуються, внаслідок чого дорожчає їх виробництво. Охолоджені (підсушені) гранули пропускають через сепаратори для відокремлення дрібних борошнистих часточок і подають на склад готової продукції.

Замість пари і води при гранулюванні комбікормів можуть використовуватися рідкі в'язучі речовини, такі як – меляса, гідрол та інші.

Найвигіднішим є виробництво крупних гранул діаметром 9,7-19 мм. При виготовленні гранул менших розмірів значно знижується продуктивність пресів і збільшуються витрати електроенергії. Тому комбікорми для молодняку птиці, курок-несучок і риби виробляють у вигляді крупки певного гранулометричного складу. Для цього гранули надходять на подрібнювачі різних типів з наступним сортуванням на машині з двома ситами. Схід з верхнього сита – крупні частинки,

які повертаються на подрібнення, з нижнього – готова крупка, а прохід – борошністий продукт спрямовується на повторне гранулювання.

Зберігають сировину за видами і якістю з урахуванням мінімального її переміщення у процесі зберігання і можливості подачі для виробництва будь-якого виду сировини. Не допускається змішування різних видів сировини, потрапляння в неї вологи, скла та інших домішок. Зернову і гранульовану сировину розміщують переважно у місткостях силосного типу; сировину, що має низьку сипкість, – на складах підлогового типу або в силосах, обладнаних пристроями для випуску; сировину тваринного походження, сухі кормові дріжджі, трав'яне і хвойне борошно та ін. – у тарі до подачі у виробництво; сировину мінерального походження (крейду, сіль та ін.) – на критих складах ізольовано від інших видів сировини; рідку сировину – в цистернах, бочках, спеціально обладнаних для приймання і відпуску, до подачі у виробництво.

Комбікорми розсипні і гранульовані, а також білково-вітамінні добавки зберігають переважно на складах силосного типу, а якщо таких немає, то на складах підлогового типу насипом або в тарі. У сховищах окремо зберігають кожний вид комбікорму за рецептами і видачею їх споживачам, не допускаючи їх змішування і самосортування» [3].

## 1.2 Процес гранулювання комбікорму

Гранулювання кормів – це процес агломерації, тобто об'єднання дрібних частинок у більші частинки, під дією механічних процесів зволоження, нагріву та тиску [4].

Гранулювання комбікорму забезпечує [4]:

- 1) покращення поживної ефективності корму для тварин;
- 2) формується однорідний збалансований корм;
- 3) зменшуються витрати корму на одну тварину;
- 4) покращуються механічні характеристики корму;

5) збільшується питома вага;

б) покращуються характеристики текучості.

Покращується гігієнічність та стерильність корму.

Лінія гранулювання комбікорму приведена на рисунку 1.2 працює наступним чином [4].

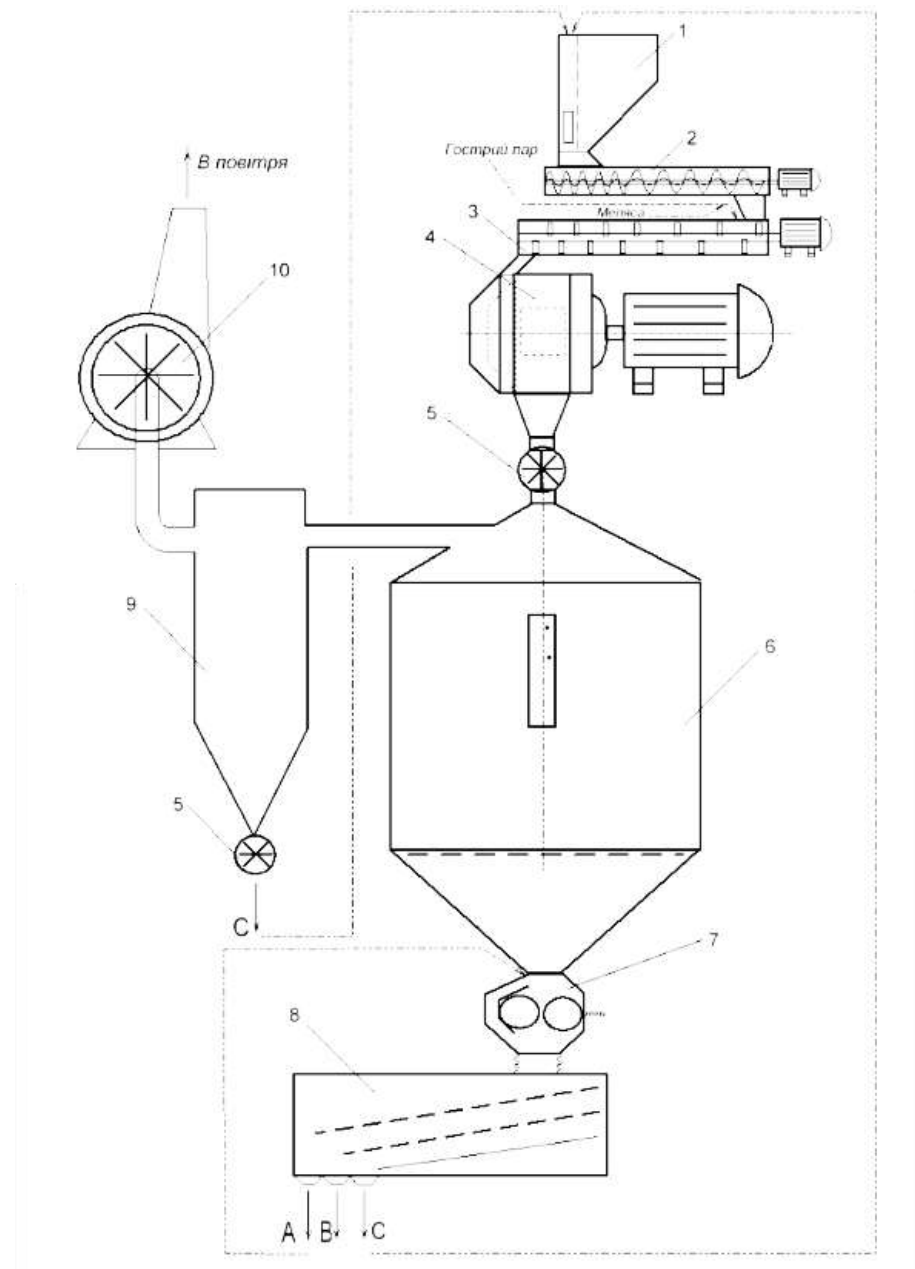


Рисунок 1.2 – Принципова схема лінії гранулювання [4]:

1 – бункер; 2 – шнековий дозатор; 3 – кондиціонер; 4 – гранулятор; 5 – шлюзовий затвор; 6 – охолоджувач; 7 – вальці; 8 – просіювач; 9 – циклон; 10 – вентилятор

«Розсипний корм із бункера відбирається дозуючим шнеком для подачі в кондиціонер. Для задання необхідної величини подачі можуть змінюватися частота обертання шнека або крок його навивки.

У кондиціонері продукт насичується гострою парою з можливістю додавання меляси. Що дозволяє розігріти його до 70-80 °С, зволожити та розм'якшити. При проходженні через отвори гранулятора температура маси зростає ще на 5-15 °С [4].

Необхідно забезпечити час знаходження продукту в кондиціонері до 40 с., але в більшості випадків – до 20 с. і менше. Тому доводиться частину лопаток повертати в зворотній бік.

Шлюзовий затвор відсікає порожнину гранулятора від охолоджувача. В охолоджувачі через шар гранул проходить повітря. При цьому гранула твердіє, підсушується та охолоджується майже до температури оточуючого середовища. Далі на вальцях гранула подрібнюється на крупку або подається у просіювач.

Відібрана пиловидна фракція разом, через окремий відсік бункера, разом із пилом з циклону повертаються назад на грануляцію. А крупна фракція сходу із верхнього сита направляється на повторне подрібнення на вальцях.

Гранулятори бувають двох типів: з плоскою та циліндричною матрицею. Товщина матриці – від 3 до 15 см.

Достатньою температурою гранул є  $t_{зовн} + 5$  °С.

На продуктивність грануляції найбільший вплив чинить діаметр отворів матриці. Діаметр отворів матриці знаходиться в межах 2-19 мм. При діаметрі отворів 5 мм продуктивність гранулятора в 5 раз більша, ніж при діаметрі 2,5 мм. Саме тому, використовуються переважно матриці з отворами 4,5-5 мм. Після цього гранули піддають обробці вальцями та просіюють на крупку» [4].

### **1.3 Карта технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму**

Основні технологічні параметри процесу гранулювання комбікорму та їх допустимі відхилення наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Карта технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення	Гранично-допустима похибка, %
1	2	3	4
Швидкість руху частинок, що піддаються подрібненню	м/с	2,5-3	±1%
Лінійна швидкість молотків дробарки	м/с	50-120	±2%
Час повного циклу змішування	хв.	6-9,5	±2%
Число циклів	шт./год.	10	+1
Час змішування компонентів	хв.	3,6-4	±1%
Точність дозування	%	3	-0,2
Вологість крейди	%	2,0	±0,1
Вологість солі	%	0,8	±0,05
Вологість комбікорму для гранулювання	%	15-18 30-35	±1,5 ±2,5
Температура комбікорму в прес-екструдері	°C	70-80	±5

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Температура пари	°С	130-140	±5
Тиск пари	МПа	0,35-0,40	±0,025
Температура гранул після грануляції	°С	$t_{\text{зовн}} + 5$	±2,5

#### 1.4 Вимоги до системи автоматизації, що розробляється

Система автоматизації, що розробляється, повинна забезпечувати виконання наступних функцій:

- управління електродвигунами приводів машин технологічного процесу;
- контролювання нижніх та верхніх рівнів компонентів в ємкостях;
- автоматичне вимірювання ваги і дозування компонентів;
- автоматичне регулювання подачі компонентів залежно від навантаження на електропривод;
- контроль температури та тиску перегрітої пари, що подається в прес-екструдер;
- контроль та автоматичне підтримання температури комбікорму в трьох зонах прес-екструдера;
- контроль витрати компонентів;
- автоматичне зупинення лінії у випадку аварійних ситуацій та можливість переходу системи на ручне керування.

#### Висновки до розділу 1 та задачі досліджень

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму показав, що керування здійснюється з використанням морально та

технічно застарілих засобів автоматизації, що не дозволяє забезпечити необхідну точність дозування компонентів та підтримання заданого значення технологічних параметрів. Система керування має високу інерційність.

Для забезпечення високої якості гранульованого комбікорму та зростання продуктивності лінії необхідно:

- 1) провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- 2) розробити функціональну схему автоматизованої системи керування;
- 3) здійснити вибір датчиків, виконавчих механізмів та промислового контролера;
- 4) розробити принципову електричну схему під'єднання датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
- 5) розробити програмне забезпечення для контролера;
- 6) провести розрахунки економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування технологічним процесом.

## РОЗДІЛ 2

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Структурна схема взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта керування технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму наведена на рисунку 2.1.

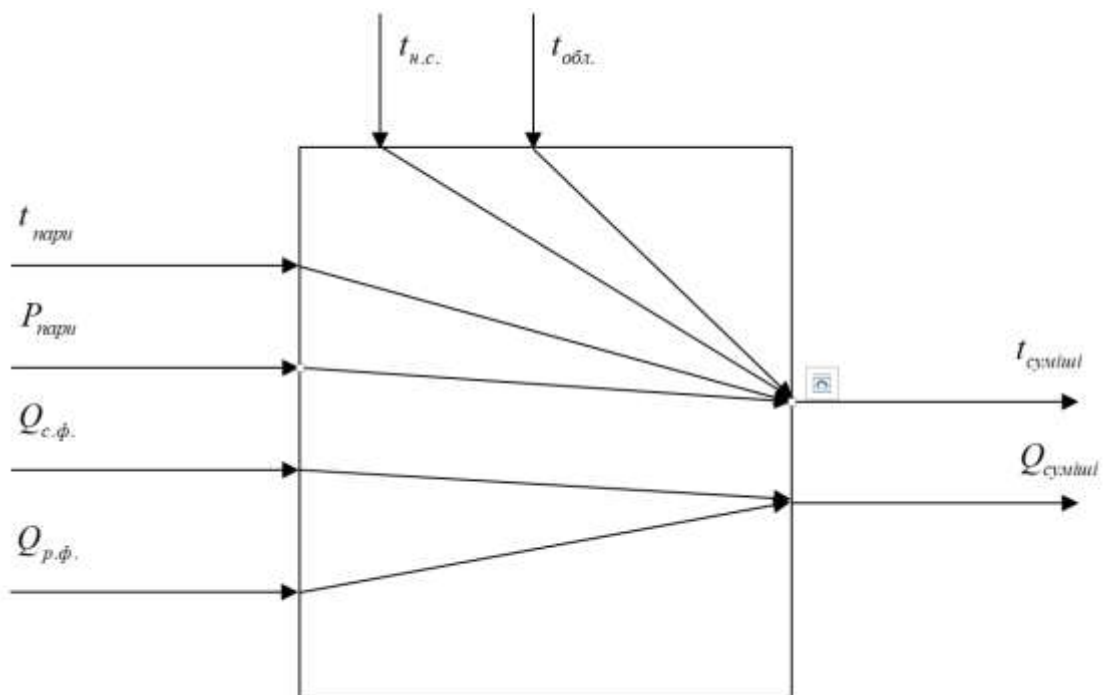


Рисунок 2.1 – Структурна схема взаємозв'язків технологічних параметрів об'єкта:

$Q_{с.ф.}$  – витрата сухих компонентів;

$Q_{р.ф.}$  – витрата рідких компонентів;

$t_{пары}$  – температура перегрітої пари;

$P_{пары}$  – тиск перегрітої пари;

$t_{суміші}$  – об'єм гранул;

$Q_{суміші}$  – температура гранул;

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

$t_{обл.}$  – температура частин обладнання

Основними вхідними параметрами є:

- 1) витрата сухих компонентів;
- 2) витрата рідких компонентів.
- 3) температура компонентів;
- 4) тиск пари.

Вихідними параметрами є:

- 1) об'єм гранул;
- 2) температура гранул.

Основними збурюючими параметрами є:

- 3) температура навколишнього середовища;
- 4) температура частин обладнання технологічної лінії.

З вище наведеної схеми можна побачити, що технологічний процес виробництва гранульованого комбікорму являє собою складну динамічну ланку з багатьма вхідними і вихідними величинами, що взаємопов'язані між собою.

З даної схеми видно напрямок регулювання в залежності від зміни вхідних величин, що дозволяє здійснити стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних систем, які пов'язані лише через об'єкт регулювання.

## **Висновок до розділу 2**

Проведений аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, як об'єкта керування, показав, що основним технологічним параметром, що суттєво впливає на якість гранул комбікорму, що випускається, є температура та тиск перегрітої пари.

### РОЗДІЛ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розроблена автоматизована система керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму (рис. 3.1) (лист 1 та 2 графічної частини роботи) функціонує наступним чином.

Рівень зерна в ємкостях 1-12 вимірюється за допомогою датчиків LE 1-1, LE 2-1...LE 12-1, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Температура зерна в ємкостях 1-12 вимірюється за допомогою датчиків TE 1-2, TE 2-2...TE 12-2, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Витрата зерна для кожної з ємкостей 1-12 вимірюється витратомірами FQIS 1-3, FQIS 2-3...FQIS 12-3, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Рівень зерна у ваговому дозаторі 13 вимірюється датчиком LE 13-1, сигнал з якого надходить на вхід модуля аналогового вводу контролера.

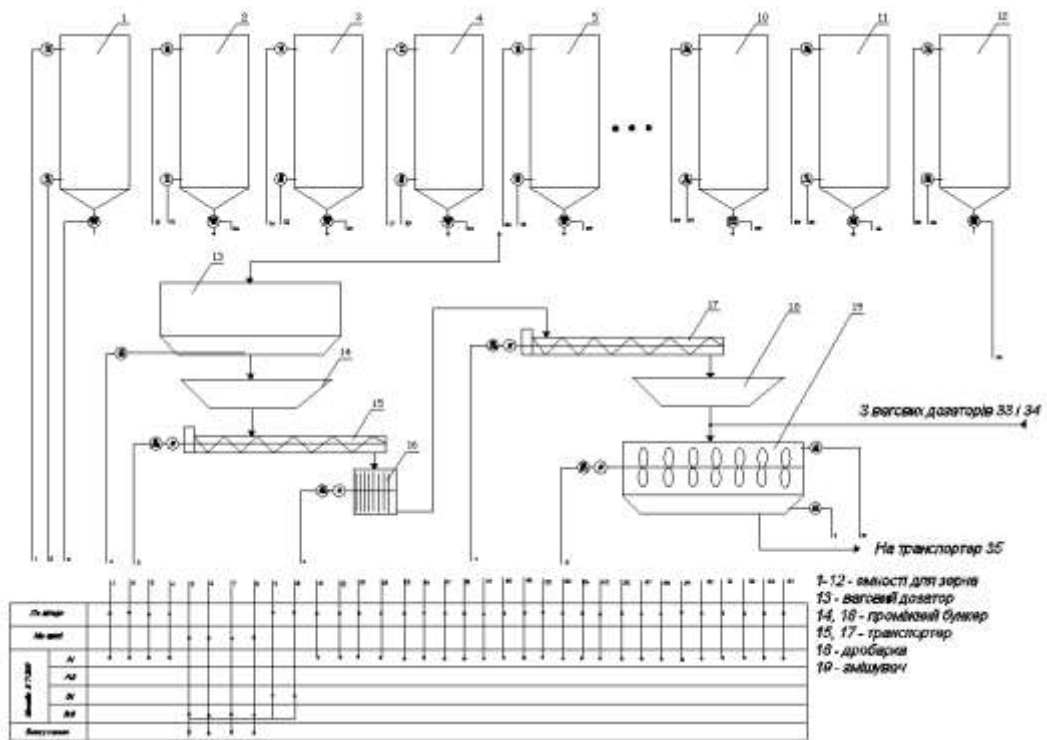
З вагового дозатора 13 зерно поступає самопливом у проміжний бункер 14, звідки – у шнековий транспортер 15, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 15-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

З ємкостей 1-12 зерно по трубопроводах самопливом надходить на ваговий дозатор 13.

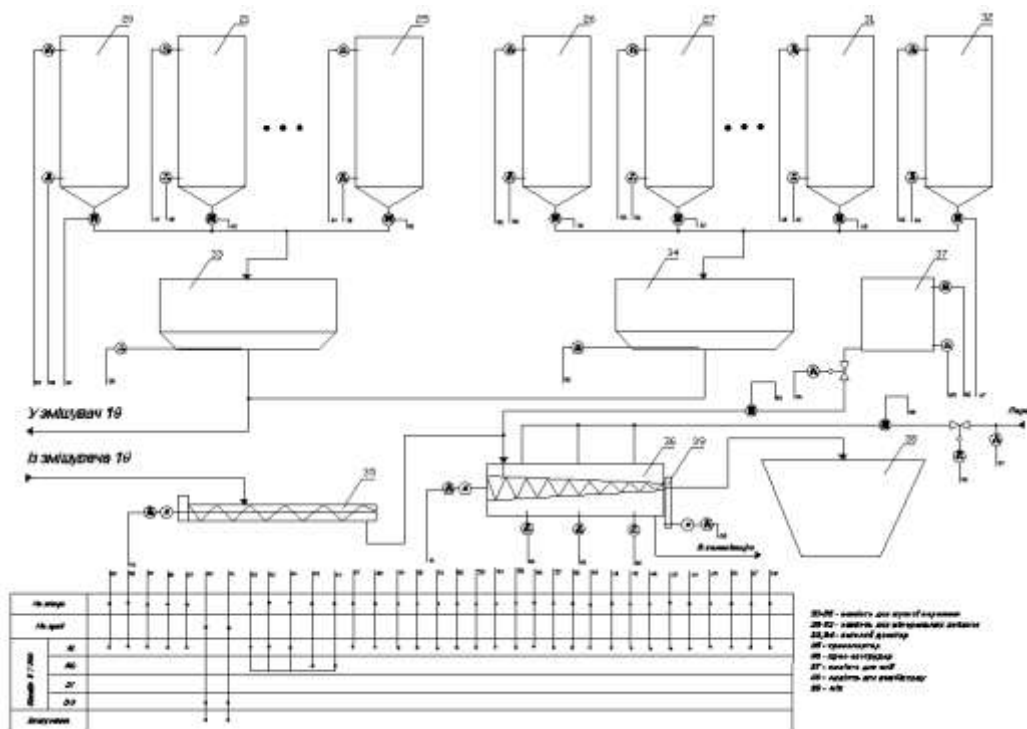
Далі шнековим транспортером 15 зерно подається у дробарку 16, електродвигун приводу якої вмикається за допомогою пускача NS 16-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

Подрібнене зерно самопливом поступає на шнековий транспортер 17, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 17-1, що

керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.



а)



б)

Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації

Тоді зерно шнековим транспортером 17 подається у проміжний бункер 18, звідки воно разом із мучною сировиною, яка надходить з вагового дозатора 33, та мінеральними добавками, що надходять з вагового дозатора 34, подаються у змішувач 19, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 19-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

Верхній рівень у змішувачі 19 контролюється датчиком LE 19-2, а нижній – LE 19-3, сигнали з яких поступають на входи модуля дискретного вводу контролера.

Рівень в ємкостях 21-25 контролюється за допомогою датчиків LE 20-1, LE 21-1...LE 25-1, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Температура в ємкостях 21-25 контролюється за допомогою датчиків TE 21-2, TE 22-2...TE 25-2, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

З ємкостей 21-25 мучна сировина по трубопроводах самопливом поступає у ваговий дозатор 33.

Витрата мучної сировини для кожної з ємкостей 21-25 вимірюється витратоміром FQIS 21-3, FQIS 22-3...FQIS 25-3, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Рівень мучної сировини у ваговому дозаторі 33 контролюється за допомогою датчика LE 33-1, сигнал з якого поступає на вхід модуля аналогового вводу контролера.

Рівень мінеральних добавок в ємкостях 26-32 контролюється за допомогою датчика LE 26-1, LE 27-1...LE 32-1, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Температура мучної сировини та мінеральних добавок в ємкостях 26-32 контролюється відповідно за допомогою датчика TE 26-2, TE 27-2...TE 32-2, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

З ємкостей 26-32 мінеральні добавки по трубопроводах самопливом поступають у ваговий дозатор 34.

Витрата мінеральних добавок з ємкостей 21-25 вимірюється витратомірами FQIS 26-3, FQIS 27-3...FQIS 32-3, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

Рівень мінеральних добавок у ваговому дозаторі 34 контролюється датчиком LE 34-1, сигнал з якого поступає на вхід модуля аналогового вводу контролера.

Суміш зі змішувача 19 поступає на шнековий транспортер 35, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 35-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

Зерно шнековим транспортером 35 надходить у прес-екструдер 36, електродвигун приводу якого вмикається за допомогою пускача NS 36-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

Одночасно з ємності 36 в прес-екструдер 35 надходить олія. Для цього з виходу модуля дискретного виводу контролера подається сигнал на пускач NS 37-1, що відкриває електроклапан подачі олії. Витрата олії вимірюється витратоміром FQIS 37-2, сигнал з якого поступає на вхід модуля аналогового вводу контролера.

Одночасно з виходу модуля дискретного виводу контролера подається сигнал на пускач NS 36-5, що відкриває електроклапан, та у три зони прес-екструдера 35 подається перегріта пара. Витрата пари вимірюється витратоміром FQIS 36-6, сигнал з якого поступає на вхід модуля аналогового вводу контролера. Тиск пари в трубопроводі вимірюється датчиком PI 36-7, сигнал з якого поступає на вхід модуля аналогового вводу контролера. Відпрацьована пара з прес-екструдера 35 надходить в каналізацію.

Температура суміші комбікорму в трьох зонах пре-екструдера 35 вимірюється датчиками TE 36-2, TE 36-3 та TE 36-6, сигнали з яких поступають на входи модуля аналогового вводу контролера.

На виході з прес-екструдера 36 формується комбікорм, що нарізується на гранули за допомогою ножа 39, електродвигун приводу якого вмикається пускачем NS 39-1, що керується дискретним сигналом, який надходить з виходу модуля дискретного виводу контролера.

З прес-екструдера 25 гранули комбікорму поступають у ємність 38 для подальшого їх охолодження, фасування та транспортування на склад готової продукції.

### **Висновок до розділу 3**

На основі технологічної схеми була розроблена та описана функціональна схема автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму та описано її основні функціональні підсистеми.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

#### **4.1 Обґрунтування вибору датчиків**

##### **4.1.1 Витратомір**

Для вимірювання витрати рідких компонентів та кількості перегрітої пари використовується витратомір QF05ZAT, технічні характеристики якого [5] приведені в додатку А.1.

##### **4.1.2 Датчик вимірювання тиску**

Для вимірювання тиску в трубопроводі подачі перегрітої пари використовується датчик тиску IFM PM1505, технічні характеристики якого [6] приведені в додатку А.2.

##### **4.1.3 Датчик вимірювання температури**

Для вимірювання температури в ємкостях та трьох зонах прес-екструдера використовується термопір Sensorshop24, технічні характеристики якого [7] приведені в додатку А.3.

##### **4.1.4 Датчик вимірювання рівня**

Для вимірювання рівня в ємкостях та змішувачі використовується радарний датчик рівня IFM LR7000, технічні характеристики якого [8] приведені в додатку А.4.

##### **4.1.5 Датчик вимірювання ваги**

Для вимірювання ваги компонентів суміші комбікорму використовується датчик U2A, технічні характеристики якого [9] приведені в додатку А.5.

#### **4.2 Обґрунтування вибору виконавчих механізмів та регулюючих органів**

##### **4.2.1 Електроклапани**

Для подачі олії та пари в прес-екструдер використовується соленоїдний клапан Burkert 221605, технічні характеристики якого [10] приведені в додатку

A.6.

#### 4.2.2 Магнітні пускачі

Для ввімкнення електродвигунів приводів, мішалок та відривання електроклапанів на різних стадіях протікання технологічного процесу використовується магнітний пускач АСКО ПМ 4-95, технічні характеристики якого [11] приведені в додатку А.7.

### 4.3 Обґрунтування вибору контролера

Вибір контролера, а також типу та кількості модулів вводу/виводу для нього проведено на основі кількості вхідних і вихідних сигналів (аналогових та дискретних), яку повинна забезпечити автоматизована система керування, що розробляється.

Аналіз функціональної схеми автоматизації (листи 1 та 2 графічної частини роботи) показав, що автоматизована система керування повинна забезпечити наступні види сигналів:

- вхідні аналогові сигнали – 58;
- вихідні аналогові сигнали – 2;
- вхідні дискретні (цифрові) сигнали – 4;
- вихідні дискретні (цифрові) сигнали – 8.

Для реалізації максимальної надійності автоматизованої системи керування в якості промислового контролера було обрано SIEMENS SIMATIC S7-300.

Для підключення до нього датчиків та виконавчих механізмів вибрано наступні модулі контролера:

- 1) модуль аналогового входу моделі 6ES7231-5ND32-0XB0 [12] – 2 шт.;
- 2) модуль аналогового виходу моделі 6ES7232-4HD32-0XB0 [13] – 2 шт.;
- 3) модуль дискретного входу моделі 6ES7221-1BH32-0XB0 [14] – 2 шт.;
- 4) модуль дискретного виходу моделі 6ES7222-1HH32-0XB0 [15] – 2 шт.

Оскільки в автоматизованій системі керування використовується чотири модулі вводу/виводу, то використовується два процесорних модуля Simatic S7-300

6ES7314-6CH04-0AB0 [16].

#### **4.4 Обґрунтування вибору джерела живлення**

Оскільки в автоматизованій системі керування, що розробляється, використовується два процесорних модуля Simatic S7-300 моделі 6ES7314-6CH04-0AB0, то для забезпечення їх живлення необхідно два блоки живлення постійного струму напругою 24 В моделі 6ES7307-1KA02-0AA0 [17].

#### **Висновки до розділу 4**

Розроблена специфікація технічних засобів автоматизованої системи керування, що розробляється, приведена в додатку В.

На основі вибору технічних засобів автоматизації можна зробити наступні висновки:

- для вимірювання витрати рідких компонентів та кількості перегрітої пари використовується витратомір QF05ZAT;
- для вимірювання тиску в трубопроводі подачі перегрітої пари використовується датчик тиску IFM PM1505;
- для вимірювання температури в ємкостях та трьох зонах прес-екструдера використовується термоопір Sensorshop2;
- для вимірювання рівня в ємкостях та змішувачі використовується радарний датчик рівня IFM LR7000;
- для вимірювання ваги компонентів суміші комбікорму використовується датчик U2A;
- для подачі олії та пари в прес-екструдер використовується соленоїдний клапан Burkert 221605;
- для ввімкнення електродвигунів приводів, мішалок та відривання електровентилів на різних стадіях протікання технологічного процесу використовується магнітний пускач АСКО ПМ 4-95;

Для реалізації максимальної надійності автоматизованої системи керування в якості промислового контролера було обрано SIEMENS SIMATIC S7-300.

Для підключення до нього датчиків та виконавчих механізмів вибрано наступні модулі контролера:

- модуль аналогового входу моделі 6ES7231-5ND32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль аналогового виходу моделі 6ES7232-4HD32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль дискретного входу моделі 6ES7221-1BH32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль дискретного виходу моделі 6ES7222-1HH32-0XB0 – 2 шт.

Оскільки в автоматизованій системі керування використовується чотири модулі вводу/виходу, то використовується два процесорних модуля Simatic S7-300 6ES7314-6CH04-0AB0.

Оскільки в автоматизованій системі керування, що розробляється, використовується два процесорних модуля Simatic S7-300 моделі 6ES7314-6CH04-0AB0, то для забезпечення їх живлення необхідно два блоки живлення постійного струму напругою 24 В моделі 6ES7307-1KA02-0AA0.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ТИПУ РЕГУЛЯТОРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В ПРЕС-ЕКСТРУДЕРІ

Оскільки якість гранул комбікорму залежить від технологічних параметрів роботи прес-екструдера, то було проведено розрахунок та вибір типу регулятора автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері.

Вихідні дані для розрахунків та вибору регулятора:

- об'єкт керування: прес-екструдер;
- вихідна величина: температура продукту 70-80 °С;
- вхідні впливи: подача гарячої пари (130-140 °С, тиск перегрітої пари 0,35-0,4 МПа);
- датчики: датчики температури для трьох зон прес-екструдера та датчик тиску перегрітої пари;
- контролер: Siemens Simatic S7-300.

Вихідні дані для вибору типу регулятора;

- рекомендований регулятор: ПІ-регулятор (Пропорційно-Інтегральний);
- FB41 (PID\_Compact) або FB42 (PID) для контролера Simatic S7-300;
- пропорційна частина (P) – швидке реагування;
- інтегральна частина (I) – усунення сталої похибки;
- диференціальна частина (D) – є обов'язковою.

Реакцію системи на одиничний крок подачі пари (модель FOPDT) наведено на графіку перехідного процесу (рис. 5.1).

Математичне представлення об'єкта реалізоване за формулою (5.1):

$$C \cdot dT/dt = K_p \cdot (T_{\text{steam}} - T), \quad (5.1)$$

де  $C$  – теплова інерція прес-екструдера;

$T$  – температура продукту;

$T_{\text{steam}}$  – температура пари;

$K_p$  – коефіцієнт теплопередачі;

стала часу  $\tau = C/K_p$ .

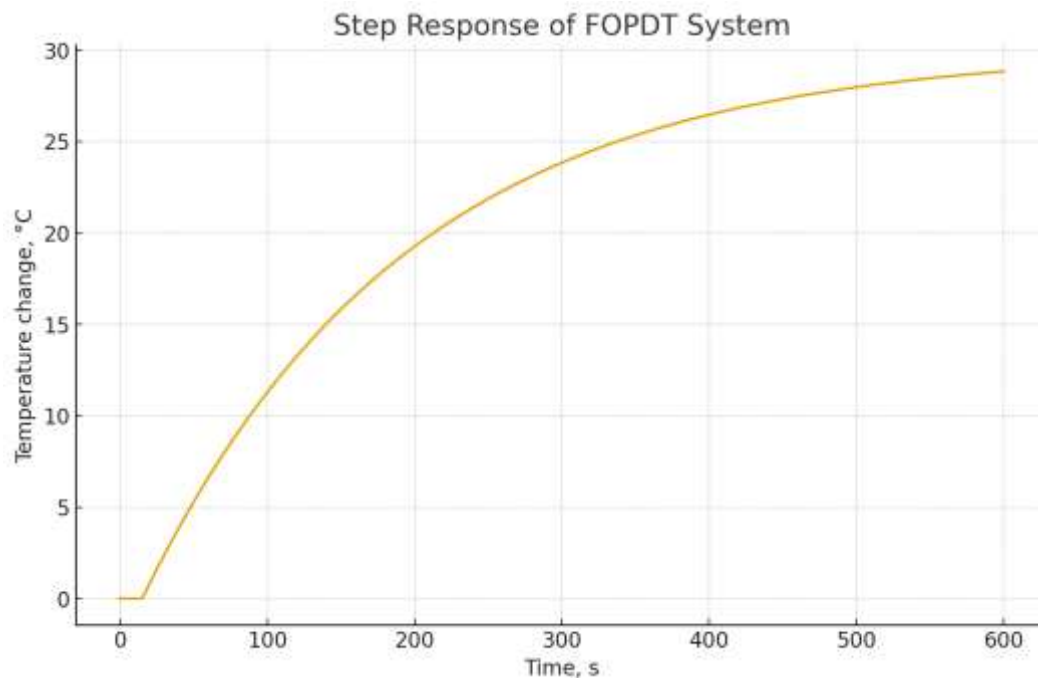


Рисунок 5.1 – Графік перехідного процесу

Опис алгоритму PID-регулятора.

PID-регулятор складається з трьох складових:

P – пропорційна дія: реагує на поточну помилку  $e(t)$ ;

I – інтегральна дія: компенсує сталу помилку;

D – диференціальна дія: реагує на швидкість зміни помилки.

Структурна схема системи керування.

Блок-схема структурної схеми системи керування приведена на рисунку 5.2.

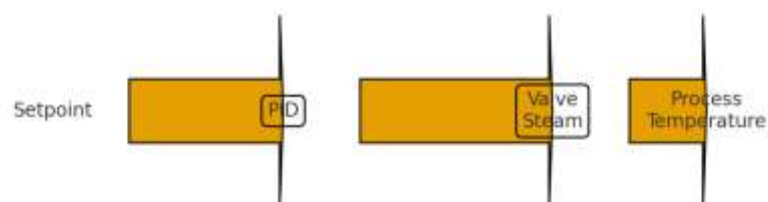


Рисунок 5.2 – Блок-схема структурної схеми системи керування

Загальна формула (5.2):

$$u(t) = K_c [ e(t) + 1/T_i \int e(t) dt + T_d de(t)/dt ], \quad (5.2)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт підсилення,

$T_i$  – інтегральний час,

$T_d$  – диференціальний час.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора було проведено за методом Зіглера-Ніколса, та розраховано, що  $K_p = 0,045$  та  $T_i = 120$  с.

Схема регулювання температури в прес-екструдері містить наступні контури:

- датчик температури → контролер S7-300 → FB41 → клапан подачі пари;
- датчик тиску пари → захисний сигнал (Interlock);
- обмеження швидкості зміни сигналу на клапані для запобігання перегріву маси комбікорму, оскільки це може привести до зупинки роботи прес-екструдера або виходу його з ладу.

Налаштування ПІ-регулятора для контролера S7-300 приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Налаштування ПІ-регулятора для контролера Simatic S7-300

Параметр	Значення	Примітка
1	2	3
Тип регулятора	ПІ (Proportional + Integral)	FB41 – PID_Compact
Задане значення (SP)	75 °C	Оптимальне середнє між 70–80 °C
Пропорційний коефіцієнт ( $K_p$ )	0,045	Початкове налаштування, може коригуватись
Інтегральний час ( $T_i$ )	120 с	Усуває сталу похибку

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Диференціальний час (Td)	0 с	Не застосовується
Обмеження вихідного сигналу	0-100 %	0 % – клапан закрито, 100 % – повне відкриття
Максимальна швидкість зміни сигналу	1 %/с	Запобігає різким коливанням температури
Датчик температури (PV)	PT100 або аналог	Підключений до Simatic S7-300
Датчик тиску пари	0,35-0,4 МПа	Використовується як захисний сигнал (Interlock)
Режим роботи	Автоматичний	Регулятор підтримує SP
Керований виконавчий механізм	Клапан подачі перегрітої пари	Пряма пропорційна подача
Інтервал оновлення контролера	100-200 мс	Стандарт для S7-300, достатньо для повільного об'єкта

Додаткові рекомендації при реалізації системи керування:

- провести перевірку меж сигналів клапана та датчика тиску;
- поступово підвищувати  $K_p$  при налаштуванні;
- обмежити  $T_{max}$  і  $T_{min}$  для SP (70-80 °C);
- провести логування PV і  $U_{out}$  для аналізу динаміки процесу.

Порядок пуско-налагодження:

- 1) провести кроковий тест клапану;
- 2) обчислити реальні  $K$ ,  $\tau$ ,  $L$ ;
- 3) ввести параметри в регулятор;

4) оптимізувати P, I, D за реакцією.

Підсумкові налаштування ПІ-регулятора:

$P = 48 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ;

$T_i = 30 \text{ s}$ ;

$T_d = 7.5 \text{ s}$ ;

Час вибірки контролера: 1-2 s.

### **Висновки до розділу 5**

Проведено розрахунок та вибір ПІ-регулятор автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері. Приведено параметри налаштування ПІ-регулятора для контролера Simatic S7-300 ( $P = 48 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 30 \text{ s}$ ,  $T_d = 7,5 \text{ s}$ , час вибірки контролера: 1-2 с.) та додаткові рекомендації при реалізації системи керування.

## РОЗДІЛ 6

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

На листах 3 та 4 графічної частини роботи та рисунку 6.1 наведено принципову електричну схему під'єднання датчиків та виконавчих механізмів до модулів контролера Simatic S7-300.

Кожна з ємкостей для зберігання компонентів має датчики рівня, що під'єднані до входів модуля аналогового входу 6ES7231-5ND32-0XB0.

Датчик ваги під'єднаний до контролера та передає дані за допомогою шини ProfiBus.

Датчики температури під'єднані до входів модуля аналогового входу 6ES7231-5ND32-0XB0.

Змішувач обладнаний мішалкою, електродвигун приводу якої вмикається дискретним сигналом з модуля дискретного виходу 6ES7222-1BH32-0XB0.

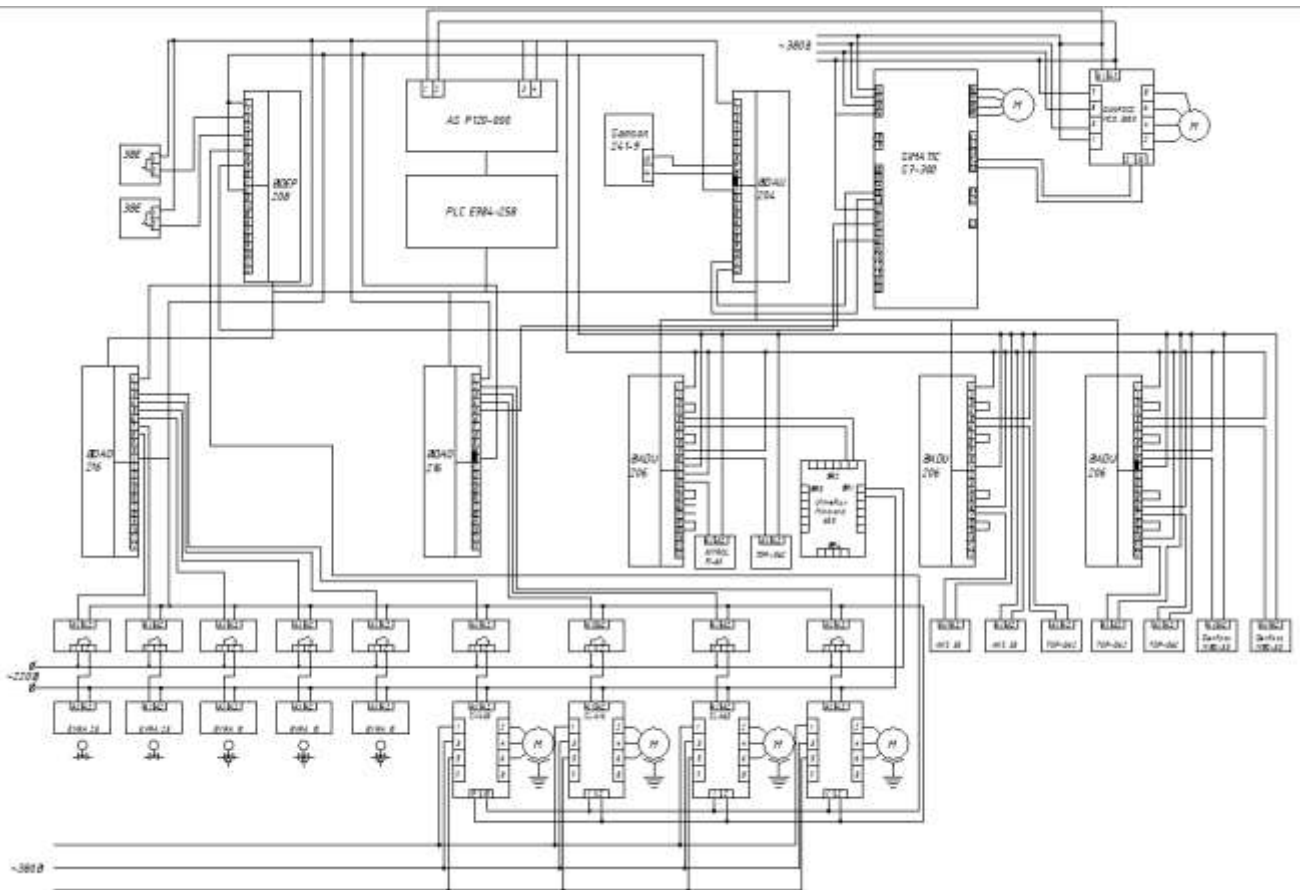
Клапан подачі пари є аналоговим виконавчим механізмом, тому він під'єднаний до модуля аналогового входу 6ES7231-5ND32-0XB0.

Силові електродвигуни живляться напругою 380 В змінного струму, а технічні засоби автоматизації та контролер – напругою 24 В постійного струму від двох стабілізованих блоків живлення 6ES7307-1KA02-0AA0.

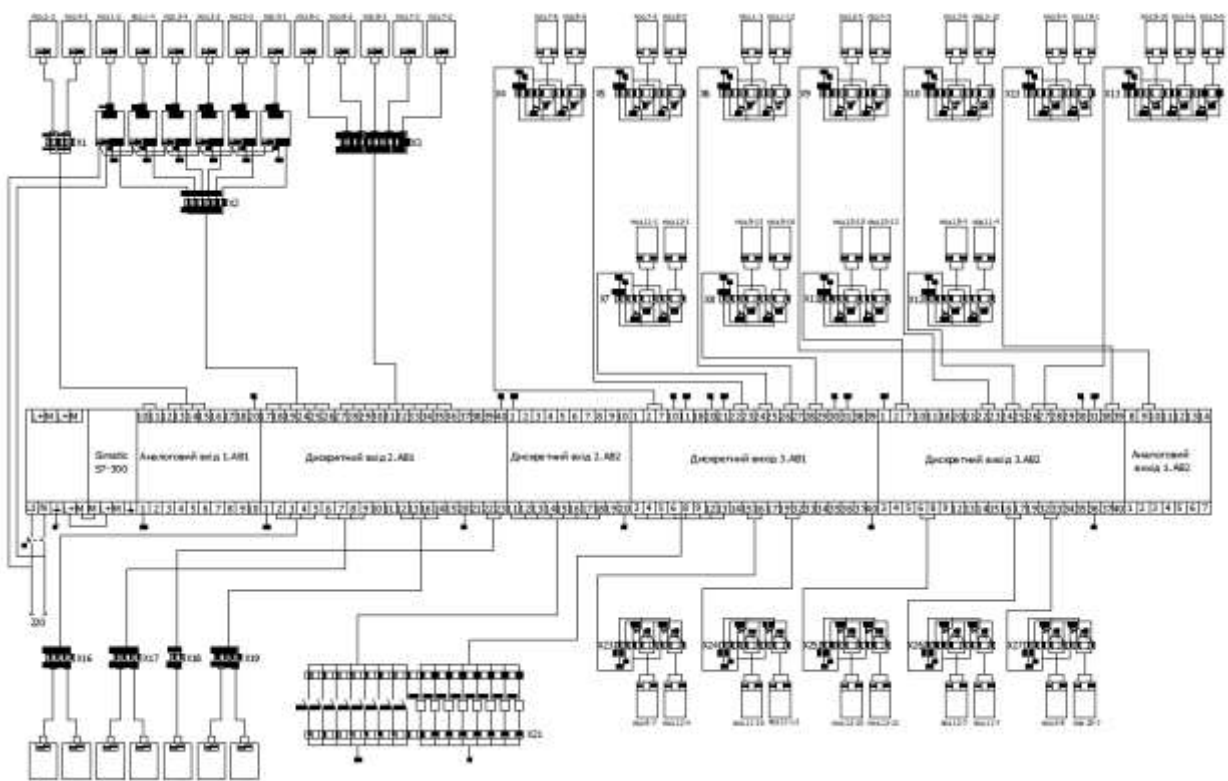
Захист кіл живлення електродвигунів від струмів короткого замикання та перевантаження реалізовано за допомогою двополюсних автоматичних вимикачів.

Датчики температури з вторинним перетворювачем мають аналогові вихідні сигнали 4-20 мА, які подаються на входу модуля аналогового входу контролера 6ES7231-5ND32-0XB0.

Датчики рівня з дискретними вихідними сигналами під'єднані до модуля дискретного виходу контролера 6ES7221-1BH32-0XB0, до якого також під'єднані контакти реле, що пов'язані з пускачами електродвигунів та замикаються, коли електродвигун працює, що дає змогу отримувати інформацію про їх технічний стан.



a)



б)

Рисунок 6.1 – Принципова електрична схема

Вихідний дискретний сигнал з модуля дискретного виходу контролера 6ES7222-1BH32-0XB0 подається на реле, що подають напругу на котушки пускачів, які замикають силові контакти для подачі живлення на електродвигуни приводів технологічного устаткування.

Також до модуля дискретних виходів контролера 6ES7222-1BH32-0XB0 під'єднані реле, що подають живлення на соленоїди, які керують положенням двопозиційних клапанів.

До модулі аналогових виходів контролера з уніфікованим 6ES7232-4HD32-0XB0 під'єднані соленоїдні клапани Burkert 221605, які в залежності від величини вхідної напруги змінюють січення поперечного перерізу трубопроводу, зокрема подачі перегрітої пари.

### **Висновок до розділу 6**

Для автоматизованої системи керування, що розробляється, розроблено принципову електричну схему під'єднання датчиків та виконавчих пристроїв до модулів входу/виходу контролера Siemens Simatic S7-300.

## РОЗДІЛ 7

### ПРОГРАМА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНТРОЛЕРА

#### 7.1 Розробка алгоритмів керування

Алгоритму керування автоматизованою системою, що розробляється, реалізовано наступним чином.

Розроблені блок-схеми алгоритмів керування приведені на листі 5 графічної частини роботи.

Мікропроцесорний модуль контролера перевіряє чи не надійшов сигнал зупинки системи з робочого місця оператора. Якщо так, то виконання програми призупиняється до надходження сигналу скидання мітки зупинки.

Вона також перевіряє чи надійшов сигнал запиту на введення нової рецептури з робочого місця оператора.

При надходженні сигналу виконується алгоритм введення рецептури.

Далі перевіряється чи порожні порційні дозатори.

Наступним етапом є корекція нуля датчиків ваги.

Після цього виконується алгоритм процесу дозування, при якому потрібно передбачити можливість аварійної зупинки системи керування.

Після відпрацювання алгоритму рецептури перевіряється готовність наступного обладнання лінії до приймання нової порції, і у випадку готовності, відкриваються вивантажувальні люки порційних дозаторів.

Далі відбувається перехід на початок програми.

Загальний алгоритм керування наведено на рисунку 7.1.

Введення нової рецептури з робочого місця оператора здійснюється за алгоритмом, що наведений на рисунку 7.2.

Корекція нуля здійснюється за алгоритмом, що наведений на рисунку 7.3.

Процедура дозування виконується за алгоритмами, що наведені на рисунках 7.4-7.6.



Рисунок 7.1 – Блок-схема загального алгоритму керування

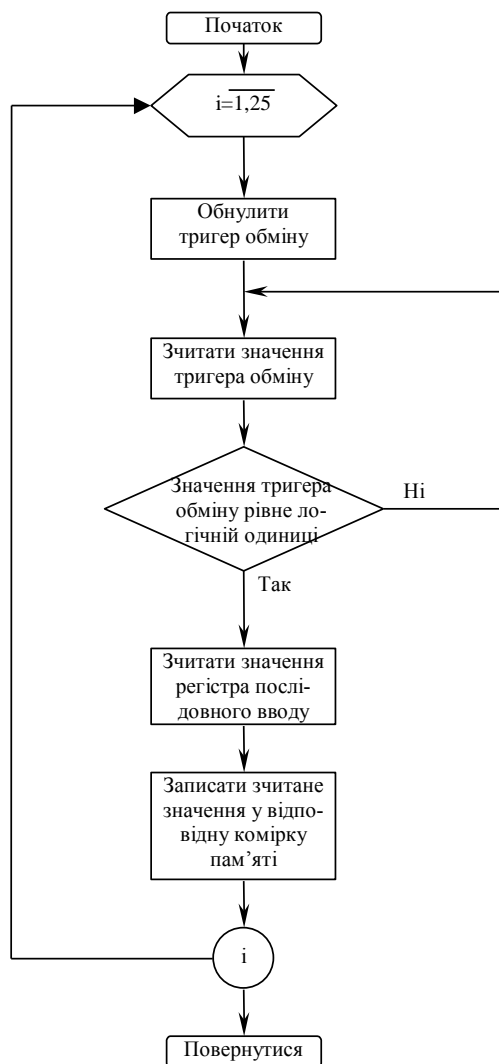


Рисунок 7.2 – Блок-схема алгоритму введення нової рецептури



Рисунок 7.3 – Блок-схема алгоритму корекції нуля вагових дозаторів

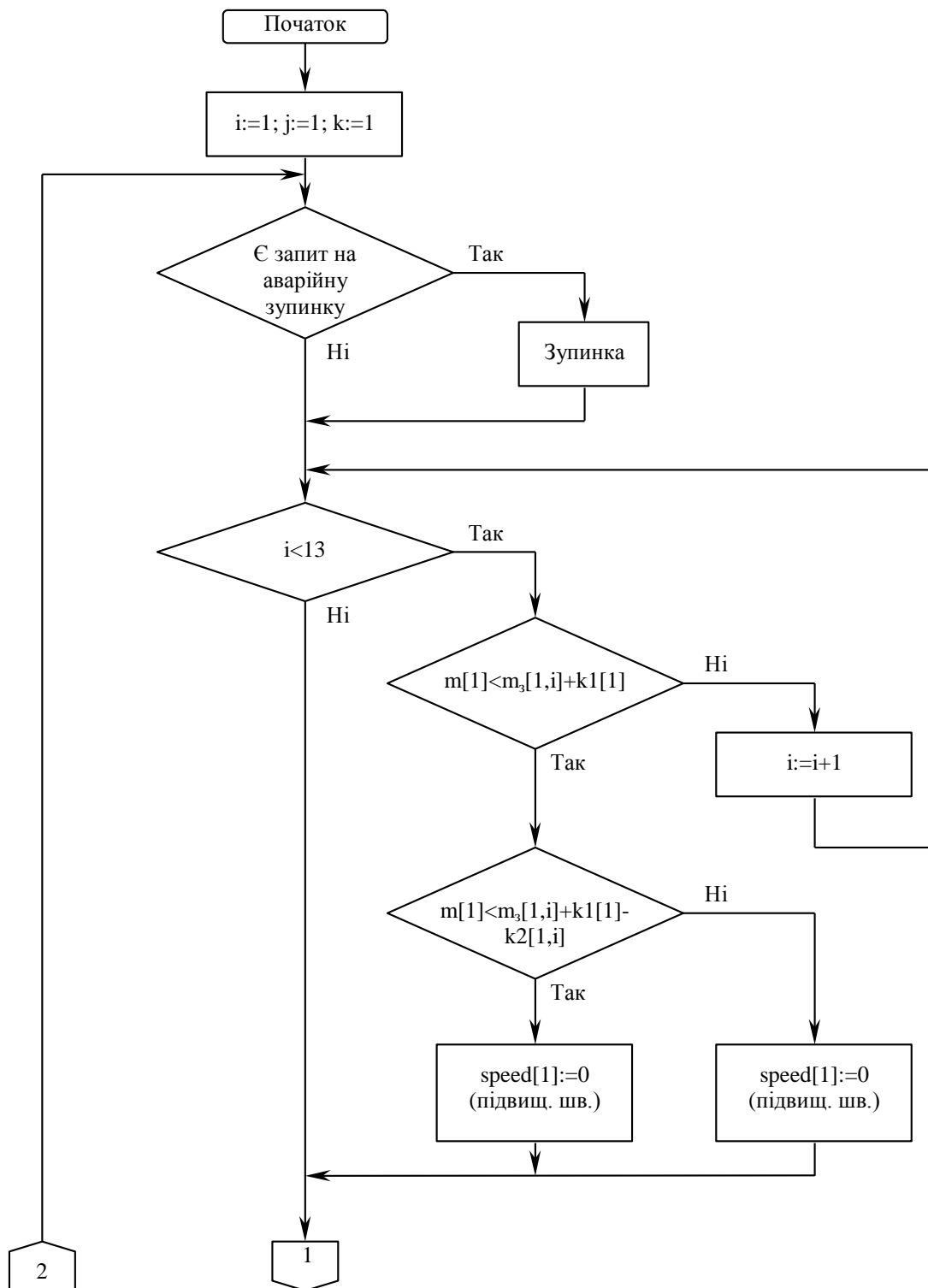


Рисунок 7.4 – Блок-схема алгоритму дозування

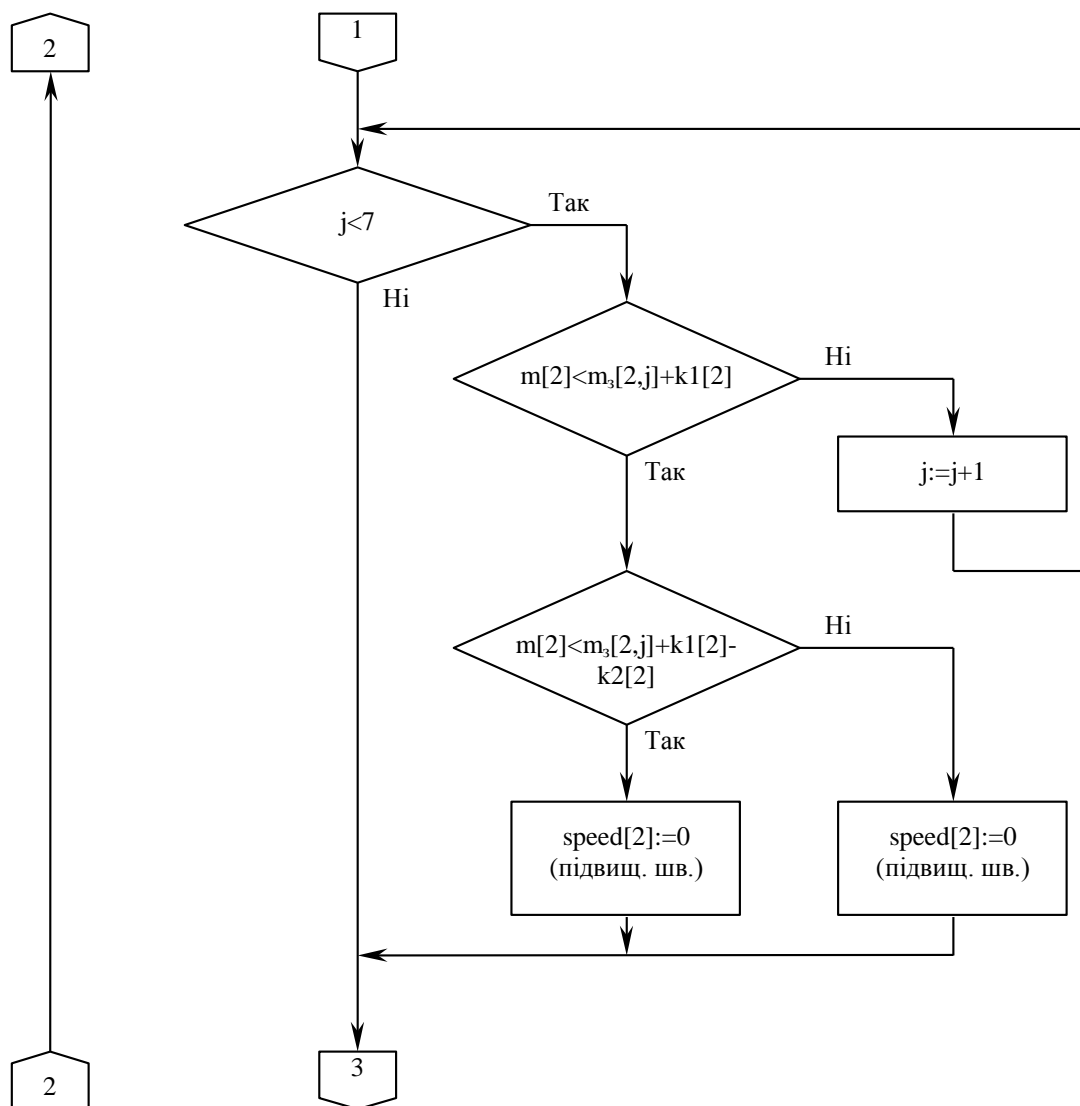


Рисунок 7.5 – Блок-схема алгоритму дозування

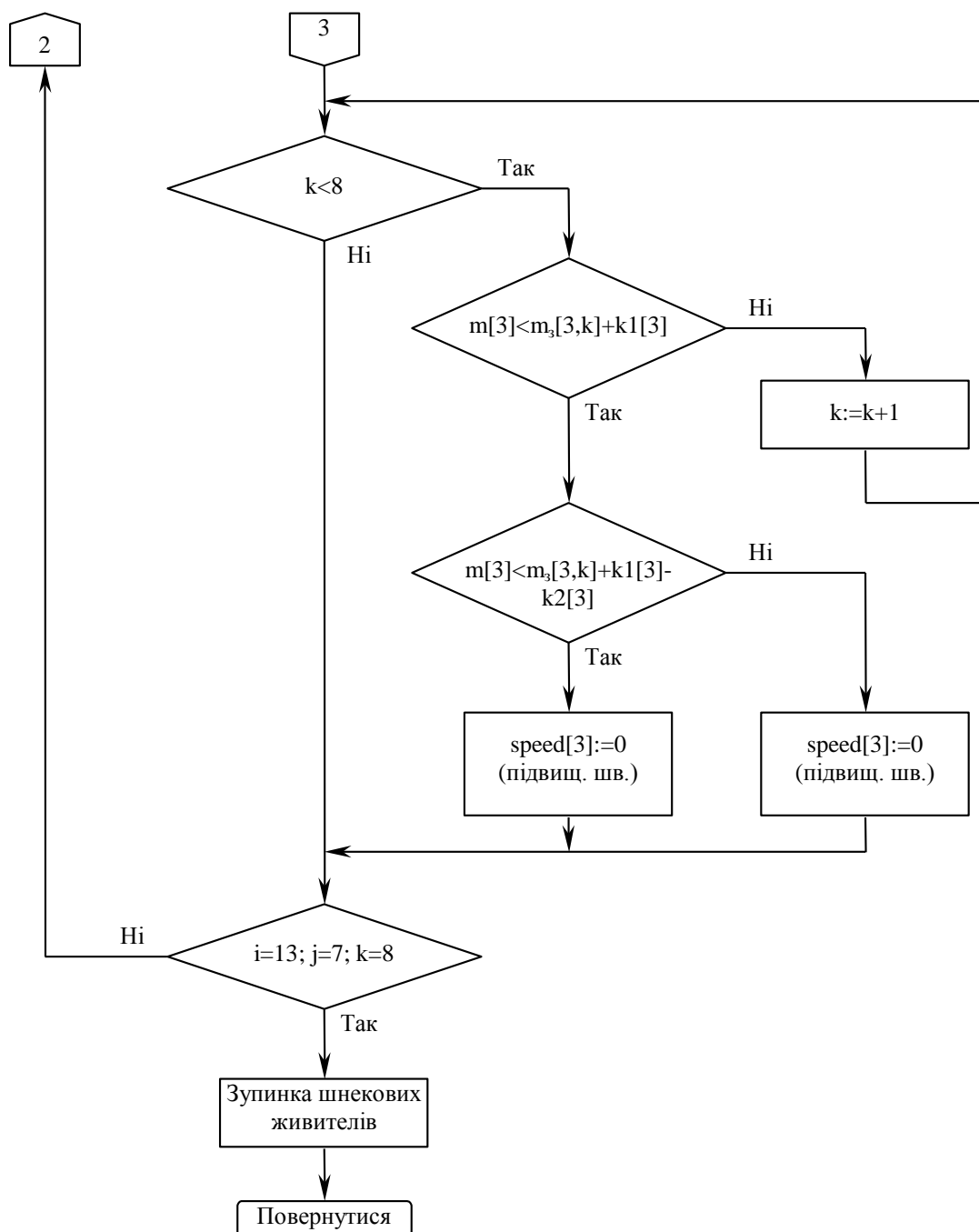


Рисунок 7.6 – Блок-схема алгоритму дозування

## 7.2 Розробка програми функціонування контролера

На основі розроблених блок-схем, що наведені на рисунку 7.7 та листі 5 графічної частини роботи, в середовищі SIMATIC Step7 на мові LAD була розроблена програма функціонування контролера, яка наведена на листі 6 графічної частини роботи.



- ПІД закон регулювання з незалежними настройками  $K$ ,  $T_i$  та  $T_d$ ;
- ручний, автоматичний режими керування та повна зупинка;
- безударний перехід з ручного режиму керування на автоматичний;
- можливість окремого функціонування П, І і Д складової;
- обмеження вихідного сигналу  $Y$ ;
- можливість формування Д-складової на основі регульованого значення  $PV$  або на основі системного відхилення  $ERR$ ;
- $sp\_int$  – вхід задання;
- $pv\_in$  – вхідний сигнал;
- $lmp$  – вихідний сигнал.

В даній програмі приведена обробка вхідних сигналів та реалізовані алгоритми регулювання.

### **Висновок до розділу 7**

Для керування автоматизованою системою в автоматичному режимі була розроблена блок-схема алгоритму керування, на основі якої в середовищі SIMATIC Step7 на мові LAD була розроблена програма функціонування контролера.

## РОЗДІЛ 8

### РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

#### 8.1 Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію

Для аналізу доцільності впровадження системи автоматизації технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, що розроблена, необхідно розраховувати капітальні затрати на придбання, транспортування і монтаж технічних засобів автоматизації.

Капітальні затрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматизації, монтажу, наладки, транспортні витрати.

Вартість закупівлі технічних засобів автоматизації визначено у відповідності із діючими на даний момент цінами [5-17] та занесено в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахунок вартості технічних засобів автоматизації

№ з/п	Назва приладу	Тип	Кількість	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
1.	Витратомір	QF05ZAT	25	700	17500,00
2.	Пускач	АСКО ПМ 4-95	7	2154,67	15082,69
3.	Датчик ваги	HBM U2A	3	38414	115242,00
4.	Соленоїдний клапан	Burkert 221605	24	4505	108120,00
5.	Датчик тиску	IFM PM1505	1	28539	28539,00
6.	Датчик температури	Sensorsho p24	26	3800	98800,00

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5	6
7.	Радарний датчик рівня	IFM LR7000	29	23069	669001,00
8.	Центральний процесор	Siemens Simatic S7-300 6ES7314- 6CH04- 0AB0	2	129358	258716,00
9.	Модуль аналогового входу	6ES7231- 5ND32- 0XB0	2	20013	40026,00
10.	Модуль аналогового виходу	6ES7232- 4HD32- 0XB0	2	20796	41592,00
11.	Модуль дискретного входу	6ES7221- 1BH32- 0XB0	2	9541	19082,00
12.	Модуль дискретного виходу	6ES7222- 1NH32- 0XB0	2	9541	19082,00
13.	Блок живлення	6ES7307- 1KA02- 0AA0	2	15985	31970,00
	Всього	-	-	-	1351026,69

За даними таблиці 8.1 вартість технічних засобів автоматизації становить  
 $V_3=1351026,69$  грн.

Транспортно-заготівельні витрати враховані в розмірі 25% від вартості технічних засобів автоматизації.

Витрати на монтаж системи автоматизації прийнято в розмірі 45% від вартості технічних засобів автоматизації..

Вартість налагодження апаратури прийнято в розмірі 10% вартості технічних засобів автоматизації.

Отже, загальна вартість розробленої автоматизованої системи керування визначається за формулою (8.1):

$$B = B_3 + B_{\text{тр}} + B_{\text{м}} + B_{\text{н}}, \quad (8.1)$$

де  $B_3$  – загальна вартість технічних засобів автоматизації.,

$B_{\text{тр}}$  – транспортні витрати,

$B_{\text{м}}$  – витрати на монтаж розробленої системи автоматизації,

$B_{\text{н}}$  – витрати на налагодження розробленої системи автоматизації.

Тому загальна вартість розробленої автоматизованої системи керування становить:

$$B = 1351026,69 + 337756,67 + 607962,01 + 135102,67 = 2431848,04 \text{ грн.}$$

## 8.2 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати пов'язані із функціонуванням нових основних фондів, що вводяться в експлуатацію при автоматизації виробництва.

На утримання обладнання, включають затрати на основну та додаткову заробітну плату черговим слюсарям КВП і А, відрахування на соціальне страхування, затрати на електроенергію, матеріали та амортизацію приладів. Сума цих затрат складає 25% від вартості технічних засобів автоматизації, тобто:

$$\sum Z = B_{\text{н}} \cdot 0,25.$$

$$\sum Z = 1351026,69 \cdot 0,25 = 337756,67 \text{ грн.}$$

В затрати на поточний ремонт, ремонт технічних засобів автоматизації входять основна і додаткова заробітні плати ремонтникам, відрахування на соціальне страхування, вартість запасних частин і матеріалів, затрати на електроенергію, необхідну для ремонту. Ці затрати складають 2,5% від вартості технічних засобів автоматизації, тобто:

$$Z_n = BB_n \cdot 0,025.$$

$$Z_n = 1351026,69 \cdot 0,025 = 33775,67 \text{ грн.}$$

Відрахування на амортизацію визначаються за балансовою вартістю основних фондів технічних засобів автоматизації, які приймають участь в амортизації, та норм амортизації і становлять 24% від вартості технічних засобів автоматизації, тобто:

$$A_e = BB_n \cdot 0,24.$$

$$A_e = 1351026,69 \cdot 0,24 = 324246,41 \text{ грн.}$$

Отже експлуатаційні затрати на автоматизацію технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму становлять:

$$Z_e = \sum (Z + Z_n + A_e);$$

$$Z_e = 337756,67 + 33775,67 + 324246,41 = 695778,75 \text{ грн.}$$

### **Висновок до розділу 9**

Розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму показав, що для її впровадження необхідно придбати технічних засобів автоматизації на суму 1351026,69 грн. Капітальні затрати на автоматизацію та монтаж розробленої автоматизованої системи керування становлять 2431848,04 грн., експлуатаційні затрати – 695778,75 грн.

## ВИСНОВКИ

В даному проекті була розроблена автоматизована система керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму.

Була розглянута технологічна схема лінії з виробництва гранульованого комбікорму та проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкта керування.

Проведено аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, як об'єкта керування, який показав, що основним технологічним параметром, що суттєво впливає на якість гранул комбікорму, що випускається, є температура та тиск перегрітої пари.

Розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування автоматизації та описано її основні функціональні підсистеми.

Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації (датчиків, виконавчих механізмів та контролера).

Зокрема:

– для вимірювання витрати рідких компонентів та кількості перегрітої пари використовується витратомір QF05ZAT;

– для вимірювання тиску в трубопроводі подачі перегрітої пари використовується датчик тиску IFM PM1505;

– для вимірювання температури в ємкостях та трьох зонах прес-екструдера використовується термоопір Sensorshop2;

– для вимірювання рівня в ємкостях та змішувачі використовується радарний датчик рівня IFM LR7000;

– для вимірювання ваги компонентів суміші комбікорму використовується датчик U2A;

– для подачі олії та пари в прес-екструдер використовується соленоїдний клапан Burkert 221605;

– для ввімкнення електродвигунів приводів, мішалок та відривання електровентилів на різних стадіях протікання технологічного процесу використовується магнітний пускач АСКО ПМ 4-95;

Для реалізації максимальної надійності автоматизованої системи керування в якості промислового контролера було обрано SIEMENS SIMATIC S7-300.

Для підключення до нього датчиків та виконавчих механізмів вибрано наступні модулі контролера:

- модуль аналогового входу моделі 6ES7231-5ND32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль аналогового виходу моделі 6ES7232-4HD32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль дискретного входу моделі 6ES7221-1BH32-0XB0 – 2 шт.;
- модуль дискретного виходу моделі 6ES7222-1BH32-0XB0 – 2 шт.

Оскільки в автоматизованій системі керування використовується чотири модулі вводу/виходу, то використовується два процесорних модуля Simatic S7-300 6ES7314-6CH04-0AB0.

Оскільки в автоматизованій системі керування, що розробляється, використовується два процесорних модуля Simatic S7-300 моделі 6ES7314-6CH04-0AB0, то для забезпечення їх живлення необхідно два блоки живлення постійного струму напругою 24 В моделі 6ES7307-1KA02-0AA0.

Проведено розрахунок та вибір ПІ-регулятор автоматизованої системи керування температурою в прес-екструдері. Приведено параметри налаштування ПІ-регулятора для контролера Simatic S7-300 ( $P = 48 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 30 \text{ с}$ ,  $T_d = 7,5 \text{ с}$ , час вибірки контролера: 1-2 с.) та додаткові рекомендації при реалізації системи керування.

Розроблено принципову електричну схему під'єднання датчиків та виконавчих пристроїв до модулів входу/виходу контролера Siemens Simatic S7-300.

Для керування автоматизованою системою в автоматичному режимі була розроблена блок-схема алгоритму керування, на основі якої в середовищі SIMATIC Step7 на мові LAD була розроблена програма функціонування контролера.

Розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму показав, що для її впровадження необхідно придбати технічних засобів автоматизації на суму 1351026,69 грн. Капітальні затрати на автоматизацію та монтаж розробленої автоматизованої системи керування

становлять 2431848,04 грн., експлуатаційні затрати – 695778,75 грн.

Реалізація розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва гранульованого комбікорму, дозволить не лише підвищити якість гранульованого комбікорму та продуктивність лінії, а й зменшити енергетичні витрати та кількість води, що використовується у виробничому процесі. Розробка може бути використана для автоматизації технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму, як для тварин так і риби.

На основі викладеного матеріалу опублікована стаття Решетило О. М., Лисенко В. Ю. Аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму як об'єкта керування. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students «Actual Problems of Automation and Control». Conference materials. Lutsk, 2025. Issue №13. С. 57-64.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Решетило О. М., Лисенко В. Ю. Аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму як об'єкта керування. *Актуальні проблеми автоматизації та управління*: матер. XIII-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Луцьк, 28 лист. 2025 р.). Вип. 13. Луцьк: ЛНТУ, С. 57-64.
2. Комбікорми. URL: <https://buklib.net/books/30910/> (дата звернення: 10.11.2025).
3. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ea/wp-content/uploads/sites/27/knyha.pdf> (дата звернення: 02.09.2025).
4. Процес гранулювання комбікормів. URL: <https://soft-agro.com/uk/kormovirobnictvo/proces-granulyuvannya-kombikormiv.html> (дата звернення: 02.09.2025).
5. Витратомір QF05ZAT URL: <https://agro-teh.com.ua/ua/p413677901-datchik-rashoda-vyazkih.html> (дата звернення: 10.11.2025).
6. Датчик тиску IFM PM1505 URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/pressure-sensors/ifm-pm1505> (дата звернення: 10.11.2025).
7. Вгвинчуваний датчик температури Sensorshop24 URL: [https://pragmatic.com.ua/sensorshop\\_efmt](https://pragmatic.com.ua/sensorshop_efmt) (дата звернення: 10.11.2025).
8. Радарний датчик рівня IFM LR7000. URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/level-sensors/ifm-lr7000> (дата звернення: 10.11.2025).
9. Тензодатчик ваги колонного типу HBM U2A; НПВ: 200 кг. URL: <https://gipercenter.com.ua/tenzodatchik-vesa-kolonnogo-tipa-hbm-u2a-npv-200-kg/> (дата звернення: 10.11.2025).
10. Burkert 221605. URL: <https://trade-control.com.ua/ua/00221605> (дата звернення: 10.11.2025).
11. Магнітний пускач АСКО ПМ 4-95 220В URL: [https://amperok.com.ua/magn%D1%96tnij\\_puskach\\_asko\\_pm\\_4\\_95\\_220\\_v\\_a0040010015](https://amperok.com.ua/magn%D1%96tnij_puskach_asko_pm_4_95_220_v_a0040010015) (дата звернення: 10.11.2025).

12. 6ES7231-5ND32-0XB0 Модуль аналогового входу. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7231-5nd32-0xb0> (дата звернення: 10.11.2025).

13. 6ES7232-4HD32-0XB0 Модуль аналогового виходу. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7232-4hd32-0xb0> (дата звернення: 10.11.2025).

14. 6ES7221-1BH32-0XB0 Модуль дискретного входу. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7221-1bh32-0xb0> (дата звернення: 10.11.2025).

15. 6ES7222-1HH32-0XB0 Модуль дискретного виходу. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7222-1hh32-0xb0> (дата звернення: 10.11.2025).

16. SIEMENS ЦЕНТРАЛЬНИЙ ПРОЦЕСОР SIMATIC 6ES7314-6CH04-0AB0, S7-300. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7314-6ch04-0ab0> (дата звернення: 10.11.2025).

17. 6ES7307-1KA02-0AA0 siemens блок живлення. URL: <https://simat.com.ua/product-6es7307-1ka02-0aa0> (дата звернення: 10.11.2025).