



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Гнідець Михайло Степанович

1. Тема роботи: «Автоматизація технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового»

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 30 грудня 2022 року № 453/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2023 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу приготування замісу при виробництві спирту етилового; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу приготування замісу 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

2. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом.

3. Оптимальне керування технологічним процесом

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел.

Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу : \_\_\_\_\_  
Тема, автор, керівник роботи. Технологічна схема приготування замісу. Структурна  
схема технологічного процесу як об'єкта керування. Регулювання температури  
замісу на виході з чанку замісу. Регулювання маси замісу подачею зерна.  
Регулювання співвідношення витрат вода-помол зерна. Експериментальна та  
розрахункова криві розгону підігрівання замісу в чанку замісу.  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 30 грудня 2023 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	30.12.22-01.01.23	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	01.01.23-01.02.23	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	01.02.23-01.03.23	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	01.02.23-01.03.23	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	01.03.23-01.04.23	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	01.04.23-01.05.23	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.05.23-16.06.23	

Студент \_\_\_\_\_ Гнідець М.С.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лиса О.В.  
 (підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового. Гнідець М.С. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2023.

87 с. текст. част., 26 рис., 8 табл., 15 літ. джерел, 2 додатки.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У вступі висвітлено суть процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового, обґрунтовано необхідність його автоматизації.

В першому розділі подано опис технологічного процесу, описано матеріальний та тепловий баланс процесу, наведені теоретичні основи технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового.

В другому розділі виконано визначено і проаналізовано фактори, що впливають на технологічний процес, складено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта, виконано технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації.

У третьому розділі виконано розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання: вибрано структуру моделі, розраховано параметри моделі, розраховано параметрів настроювання автоматичного регулятора, описано схеми автоматизації, подано специфікацію засобів автоматизації.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

## АНОТАЦІЯ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено питання автоматизації технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового. Проведено опис технологічного процесу, виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. Розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації технологічного процесу приготування замісу та відповідні засоби автоматизації, розроблено програму функціонування мікропроцесорного контролера Schneider Electric M340. За математичною моделлю об'єкта регулювання у вигляді функції передачі, методом розширених фазочастотних характеристик розраховано оптимальні параметри настроювання ПІ - регулятора за другою інтегральною квадратичною оцінкою за зміною регулюючої дії. В роботі розроблено заходи з охорони праці та навколишнього природного середовища і розрахована економічна ефективність проектованої системи автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

## THE SUMMARY

In the bachelor's qualification work, the issue of automation of the technological process of preparing the dough in the vat of the dough during the production of ethyl alcohol is solved. The description of the technological process was carried out, the analysis of the technological process as an object of automation was performed. The optimal functional scheme for automating the technological process of dough preparation and the corresponding automation tools were developed, and the program for the operation of the Schneider Electric M340 microprocessor controller was developed. According to the mathematical model of the control object in the form of a transfer function, the optimal parameters of PI - controller tuning were calculated by the method of extended phase-frequency characteristics according to the second integral quadratic estimate for the change of the control action. In the work, labor and environmental protection measures were developed and the economic efficiency of the projected automation system was calculated.

Keywords: automation, technical means, controller, control law, modeling, acceleration curve, Matlab.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>		8
<b>1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування</b>		10
1.1. Опис технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового		10
1.2. Опис технологічної схеми процесу		17
1.3. Матеріальний та тепловий баланс технологічного об'єкту		20
1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень		21
<b>2. Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом</b>		23
2.1. Визначення і аналіз факторів, що впливають на технологічний процес		23
2.2. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання		23
2.3. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації (ФСА)		24
2.4. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації		28
2.4.1. Опис характеристик мікропроцесорного контролера		28
2.4.2. Опис програми функціонування контролера для автоматизації технологічного процесу приготування замісу у виробництві спирту етилового		32
<b>3. Оптимальне керування технологічним процесом</b>		43
3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання		43
3.2. Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів		44
3.3. Вибір регулятора за законом регулювання та розрахунок параметрів його настроювання		49
3.4. Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах настроювання ПІ-регулятора		56

3.5. Опис функціональної схеми автоматизації	61
3.6. Специфікація на засоби автоматизації	65
4. <b>Охорона праці</b>	69
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці	69
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	70
4.3. Пожежна безпека	76
5. <b>Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації</b>	78
<b>Висновки</b>	86
<b>Список використаних джерел</b>	87
<b>Додатки</b>	88

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Метою управління технологічним процесом є забезпечення того, щоб критерій контролю, який характеризується як технологічний або техніко-економічний показник (продуктивність виробництва, якість продукції тощо), приймав числові значення залежно від застосовуваних до нього керуючих дій – цілеспрямованих змін матеріально-енергетичних потоків. Цей показник вимірює якість технологічного об'єкта керування (ТОК) в цілому. Крім того, під процесом оптимізації розуміють вибір такого варіанту керування, при якому досягається мінімальне або максимальне значення критерію керування.

Автоматизація виробничих процесів – це використання різноманітних технологій та систем для заміни або полегшення ручної праці людей у виробничому середовищі. Її метою є збільшення продуктивності, покращення якості виробництва, зниження витрат та забезпечення ефективного використання ресурсів. Переваги автоматизації виробничих процесів включають підвищення ефективності та продуктивності, зниження ризиків виробництва, поліпшення якості продукції, зниження витрат на робочу силу та забезпечення більш точного контролю над процесами виробництва. Вона також може допомогти зменшити час циклу виробництва та підвищити гнучкість виробництва, дозволяючи швидко переключатись на виробництво різних продуктів або виконувати зміну налаштувань. Завдяки автоматизації виробничих процесів компанії можуть досягти вищої конкурентоспроможності, забезпечити стабільність та стандартизацію виробництва, а також підвищити безпеку праці шляхом зменшення присутності людей в небезпечних зонах.

Як проміжний напівпродукт (заміс) у технології спиртів використовують суміш подрібненого зерна або коренеплодів і води для отримання спирту етилового. Для приготування замісу служить ємність циліндричної форми з конічним дном – чанок замісу. Об'єм цієї посудини визначається технологічною нормою 8...10 хвилин в часі терміну приготування замісу. З цієї норми в залежності від продуктивності заводу розраховують об'єм чанка, при коефіцієнті



його заповнення 0,8. Основною задачею цього обладнання є забезпечення ефективного замішування подрібненої сировини з водою та з розріджуючим ферментом. Технологічно цей процес повинен бути проведеним дуже швидко протягом секунд чи хвилини. При цьому досягається висока якість змішування.

Сучасний стан автоматизації технологічних процесів харчової та переробної промисловості потребує нового комплексного підходу.

**Мета роботи** - розроблення нової системи керування технологічним процесом приготування замісу у виробництві спирту етилового.

**Предмет дослідження** - автоматизація процесу приготування замісу у виробництві спирту етилового. Запропонована система керування розроблена на основі мікропроцесорного контролера „Schneider Electric M340”. Мікропроцесорні контролери призначені для автоматизації неперервних та періодичних технологічних процесів. Вони перетворюють первинну інформацію про стан технологічного об'єкта керування в цифрову форму і за відповідними алгоритмами здійснюють керування технологічним об'єктом і обмін інформацією з оператором. Впровадження мікропроцесорних контролерів підвищить надійність управління даним технологічним процесом.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес приготування замісу у виробництві спирту етилового.

# 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

## 1.1. Опис технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового

Опис технологічного процесу починаємо з опису та характеристик сировини, що застосовується у даному технологічному процесі.

### *Зернові культури*

Спеціально визначених вимог до виробництва зерна, яке переробляється у спиртовій промисловості, не встановлено. Бажано, щоб зерно було здоровим, з високою крохмалистістю, вологістю від 14 до 17 %, в залежності від культури, і з невеликою засміченістю. Але інколи спиртові заводи переробляють дефектне зерно.

Існують чотири різні рівні дефектності зерна: перша – зерно з солодовим запахом; друга – зерно з пліснявним запахом; третя – зерно з гнилістю, затхлим запахом; четверта – зерно, яке знаходилось у стані сильного саморозігрівання, з оболонкою бурого або чорного кольору.

Спиртові заводи приймають також недозріле зерно, яке підлягло дії морозу або суховію, підгоріле, дуже вологе, а також те, що перезимувало в полі під снігом.

Жито має бути різноманітних відтінків жовто-зеленого кольору, а ячмінь має бути світло-жовтим. Забороняється використовувати зерно, яке має будь-які сторонні запахи – затхлим, пліснявим.

В табл.1.1 наведена характеристика якості зерна, що застосовується у спиртовому виробництві.

### *Вода*

На етапі приготування дріжджових і ферментних розчинів у виробництві спирту використовується питна вода, а для технічних потреб — умовно чиста.

Таблиця 1.1

## Характеристика якості зерна

Показники	Зернова культура			
	Просо	Овес	Жито	Ячмінь
Вологість, %, не більше	15,0	16,0	15,5	15,5
Сміттєві домішки, %, не більше	3,0	2,0	2,0	2,0
Мінеральні домішки	0,2	0,2		0,2
Галька		0,1	-	0,1
Шлак, руда	-	0,05	-	0,05
Шкідливі домішки	0,2	0,2	-	0,2
Головня і спориш	-	0,1	-	0,1
Кукіль	-	0,2	-	0,3
Зернова домішка, %, не більше	4,0	3,0	-	3,0
Дрібні зерна, %, не більше	-	-	-	5,0
Схожість (здатність проростати на п'яту добу), %, не менше	92	92	-	92
Енергія проростання на третю добу, %, не менше	85	85	85*	85
Натура, г/дм <sup>3</sup> , не менше	-	420	685	565

Згідно державного стандарту вода питної кондиції повинна відповідати ряду

вимог:

- рН 6,0-9,0;
- запах при 20 °С і підігріві води до 60 °С бал, не більше - 2;
- присмак при 20 °С бал, не більше - 2;
- колір по шкалі, градус, не більше - 20;
- мутність по стандартній шкалі, мг/дм<sup>3</sup>, не більше - 1,5;
- загальна жорсткість мг-екв/дм<sup>3</sup>, не більше - 7;
- вміст, мг/дм<sup>3</sup>, не більше:
  - хлоридів - 350
  - сульфатів - 500
  - марганцю - ОД
  - заліза - 0,3

-міді-1,0

-цинку - 5,0.

Вода повинна бути мікробіологічно чистою, оскільки вона бере безпосередню участь у технічних процесах і входить до складу спирту та напівфабрикатів. Показниками бактеріальної чистоти води є колі-титр і колі-індекс. Колі-титр дорівнює найменшій кількості води в мл, у якій виявляється одна кишкова паличка, а колі-індекс - кількість кишкових паличок, які виявляються у 1л води. Колі-титр повинен бути не меншим 300, а колі-індекс не більшим 3. Загальна кількість мікроорганізмів у 1 мл води не повинна перевищувати 70, а під час повені – 100.

У воді не повинно бути шкідливих сполук, які пригнічують дріжджі і погіршують якість продукції. Твердий залишок – не більше 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Наявність стороннього запаху не допускається.

Для приготування замісу використовують технічну воду з температурою не більше 45 °С, значенням рН не менше 5,0. Не допускається присутність в ній солей важких металів, а також солей азотистої кислоти. Вода не повинна містити аміаку не більше 200 мг/дм<sup>3</sup>, сульфатів, хлоридів, двовуглекислих солей – не більше 300-400 мг/дм<sup>3</sup>, нітратів, силікатів – не більше 200 мг/дм<sup>3</sup>.

#### *Характеристика допоміжних матеріалів*

В даному технологічному процесі використовують також оцукрюючі матеріали, антисептичні речовини та інші допоміжні матеріали.

#### *Оцукрюючі матеріали*

У виробництві спирту із крохмалевмісної сировини (зерна злакових та ін.) використовують оцукрюючі матеріали, які містять, як правило, комплекс ферментів для гідролізу полімерів: крохмалю, білків, пектинових речовин, пентозанів, целюлози та ін. Як оцукрюючі матеріали, донедавна, на підприємствах спиртової промисловості використовували солод, але на заміну йому з'явилися ферментні препарати мікробного походження і їх суміш. При дослідженні дії ферментних препаратів як джерела оцукрюючого матеріалу було виявлено ряд важливих переваг перед застосуванням солоду.

На сьогодні спиртова промисловість ще не повністю відмовилась від використання солоду. На деяких підприємствах частину оцукрюючого матеріалу вносять у вигляді солоду і у вигляді ферментних препаратів.

Ферментні препарати в порівнянні із солодом мають ряд переваг, які зумовлюють їх широке використання: для їх виробництва застосовують більш дешеву сировину (зерно кукурудзи, пшениці, відходи спиртового, цукрового і мукомельного виробництв). Вони мають більш широкий комплекс гідролітичних ферментів, у тому числі целюлолітичних і протеолітичних, повніше гідролізується крохмаль, що дозволяє збільшити вихід спирту на 1-2%. У більшості випадків вони стерильні, що сприяє створенню умов для мікробіологічної чистоти спиртового бродіння. Концентровані ферментні препарати (сиропоподібні або у вигляді сухого порошку) мають високу питому активність і зберігаються тривалий період часу.

Процеси оцукрювання сировини і бродіння суслу можна значно прискорити, додавши до субстрату комплекс мікробних ферментів у підвищених концентраціях. Ферменти мікроорганізмів більш стійкі до фізико-хімічних умов середовища. Це дає змогу використовувати їх при високих температурах (до 105° С) під час ферментативно-теплової обробки замісів сировини і значно зменшити витрати теплової енергії та втрати зброджуваних речовин у процесі розварювання, а також проводити збродження при порівняно низьких рН бражки, що забезпечує мікробіологічну чистоту бродіння. Використання ферментних препаратів дозволяє виготовляти сусло з високим вмістом сухих речовин (до 20-21%) і накопичувати у дозрілій бражці до 11 об. % спирту, що сприяє збільшенню потужності відповідного обладнання і зменшенню питомих енерговитрат.

Розглянемо особливості деяких оцукрюючих матеріалів, що використовуються у спиртовій промисловості.

*Termamyl 120L* є рідким ензимним препаратом, що містить включно термостабільну  $\alpha$ -амілазу, продуковану генетично модифікованим штамом *Bacillus Licheniformis*. Ензим є ендоамілазою, котра гідролізує  $\alpha - 1,4 -$

глюкозидні зв'язки в амілазі та амілопектині, тому крохмаль швидко розщиплюється до розчинних декстринів та алігосахаридів, завдяки чому зменшується в'язкість. Основними характеристиками Termamyl 120L є:

Зовнішній вигляд..... чиста прозора рідина

Стандартна активність..... 60 – 120 KNU/g

Густина..... 1,2 г/см<sup>3</sup>

Ферментативна активність:

при 65°C..... 1600 од/см<sup>3</sup>

при 90°C..... 2700 од/см<sup>3</sup>

при 30°C..... 700 од/см<sup>3</sup>

Termamyl 120 L активний і при температурах 105-110 °С, хоча оптимум його активності 95-105 °С.

*San-Super 240L* – використовується в спиртовій промисловості для оцукрення заторів, які містять розріджений крохмаль. Цей матеріал добавляється, коли сушло охолоджене до 55 °С і його кислотність становить рН – 5,5.

Стандартне дозування – 1 літр на тонну крохмалю при триденному зброджуванні сусла.

Густина..... 1,25 г/см<sup>3</sup>

Зовнішній вигляд і колір..... чиста коричнева рідина

Ферментативна активність:

глюкоамілаза..... 3000

α-амілаза..... 700

протеаза..... 0,062

Головний компонент *San-Super 240L* – амілоглюкозидаза – ензим, котрий гідролізує крохмаль і декстрини повністю до глюкози. В додаток до цієї активності препарат має збалансований вміст α-амілази і протеази.

В даній роботі як оцукруючий матеріал використовують ферментні препарати мікробного походження Termamil 120L і Sun Super 240L. Їх постачає

фірма "Novo Nordisk" (Данія): В табл. 1.2 наводиться характеристика імпортованих ферментних препаратів мікробного походження.

Таблиця 1.2

**Характеристика імпортованих ферментних препаратів мікробного походження**

Показники	Характеристика та норми	
	Termamil 120L	Sun Super 240L
Зовнішній вигляд	сироподібна рідина	сироподібна рідина
Колір	коричневий	коричневий
Вміст сухих речовин, %	48-49	59-60
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,1-1,25	1,08-1,2
Активність $\alpha$ амілази:		
при 30°C	700 од/см <sup>3</sup>	700 од/см <sup>3</sup>
при 60°C	1600 од/см <sup>3</sup>	
при 90°C	2700 од/см <sup>3</sup>	глюкоамілази – 3000 од/см <sup>3</sup>
Оптимальні умови дії:		
температура, °C	80-95	50-55
pH	6,0-6,5	5,0-6,0
Витрати на 1т крохмалю	140-400 мл	800-1200 мл

Кожен з цих ферментних препаратів розводять питною водою у співвідношенні 1:10 в окремому збірнику з розрахунку витрат на зміну. Для запобігання інактивації ферментів їх дозують окремо.

*Антисептичні речовини*

Зважаючи на те, що розварювання проходить за низькотемпературною схемою, при якій температура 95°C не в змозі забезпечити повну стерилізацію суслу, тому потрібно передбачити використання антисептика. Найбільш ефективнішою групою антисептиків на даний час є полі-гексо-метил-гуанідіни (полімерні сполуки), механізм дії яких радикально відрізняється від звичних антисептичних засобів. Речовини цієї групи – розгалужені полімери, які обгортають клітину бактерії та блокують її метаболізм.

Ці антисептики належать до 4 класу небезпеки, тому не шкідливі для людини та не пригнічують життєдіяльність дріжджів.

Недоліком цих антисептиків є те, що вони не діють моментально, як інші групи антисептичних речовин. Перевагою їх є те, що вони діють в дуже низьких концентраціях. Представником цієї групи антисептиків є *Полідез і Біоцид*.

*Полідез* - дезинфікуючий засіб з високою протимікробною активністю, як проти грам-позитивних, так і проти грам-негативних, проти аеробних, так і проти анаеробних мікроорганізмів, а також проти стійких до дії дезінфектантів спорових форм пліснявих грибів та дріжджів.

За антимікробною активністю *Полідез* значно перевищує відомі дезінфектанти на основі хлорвмісних сполук, альдегідів, четвертних амонієвих сполук, пероксидів. *Полідез* не має запаху, нелеткий і не надходить у повітря з поверхонь після їх знезараження, не агресивний до будь-яких матеріалів, не викликає корозію після дезинфекції.

Проведено дослідження впливу антисептика *Полідез* на етапи приготування сусла та бродіння на виробничих умовах. В процесі дослідження використовували *Полідез* при концентрації 20 мг/м<sup>3</sup> бражки чи сусла. Встановлено, що протягом всього терміну зброджування (72 год.), інтенсивність виділення двооксиду вуглецю було практично на рівні контролю. Кислотність дозрілої бражки у зразках з *Полідезом*, незалежно від способу антисептування сусла була нижчою, ніж в контролі і склала 0,48-0,49 мл 1 н NaOH на 20 мл бражки. Вміст нерозчинного крохмалю в дозрілій бражці складав 0,09-0,095 г/100 мл. розчинних вуглеводів був нижчий ніж в контролі і склав 0,223-0,225 г/100 мл бражки. Концентрація спирту в дозрілій бражці в контролі була 7,39 об. %, а в дослідних зразках - 7,4-7,41 об. %.

#### *Інші допоміжні матеріали*

Для виробництва спирту етилового ректифікованого необхідно застосовувати такі допоміжні матеріали які наведені в табл.1.3.



Таблиця 1.3

### Характеристика допоміжних матеріалів

Найменування матеріалу	Вміст основного компонента, %	Класифікація
Сірчана кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - не менше 92,5	Технічна
Карбамід	Азот - 46,3	Технічна
Ортофосфатна кислота	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 35,4	Технічна

## 1.2. Опис технологічної схеми процесу

Процес приготування замісу відбувається у три етапи:

### *Одержання високодисперсного помолу зерна*

Для одержання високодисперсного (ВД) помолу зерна сконструйовано дезінтегратор, який складається з корпусу, всередині якого розміщені два ротори, виконані у вигляді дисків з мелючими елементами, що обертаються в протилежні боки. Для більш ефективної роботи ротори з'єднують з двигуном за допомогою проміжного вала, що зменшує навантаження на передній підшипник електродвигуна. На найбільшому за діаметром роторі встановлені вентиляційні лопатки. Продуктивність дезінтегратора - до 5 т помолу за годину зерна з розміром частинок менше 250 мкм. Більші за розміром частинки помолу відділяються в сепараційній камері і повертаються на повторне подрібнення в дезінтегратор.

Зерно із витратного бункера дозуючим шнеком подають у дезінтегратор. Помол зерна під дією відцентрованої сили та повітряного потоку від вентилятора по трубопроводу надходить у середню частину сепараційної камери.

Повітря, що подається вентилятором в нижню частину сепараційної камери виносить з собою помол зерна з розміром частинок менше 250 мкм в циклон, з якого помол через шлюзовий затвор подається в змішувач (дезмембратор) для утворення однорідної консистенції води і замісу. Заміс надходить у збірник.

Повітря, яке виходить з циклону, спрямовується в вентилятор для повторного використання. Для забезпечення обміну повітря в системі установки частина повітря всмоктується в дезінтегратор з атмосфери.

Кількість повітря, яке подає вентилятор в сепараційну камеру регулюють таким чином, щоб на ситі сепараційної камери створився і постійно підтримувався рівномірно по всій площині псевдозріджений прошарок грубих частинок помолу і не утворились "завали" в окремих його місцях. Частинки помолу розміром більше 250 мкм із сита повертаються в дезінтегратор для повторного подрібнення.

Пуск установки здійснюють у такій послідовності: вмикають двигуни змішувача, шлюзового затвору, вентилятора, однорядного ротора, двохрядного і шнекового дозатора зерна в дезінтегратор. амперметрів.

Продуктивність установки регулюють зміною кількості подачі зерна в дезінтегратор шнековим дозатором, яка забезпечує необхідну для заводу кількість замісу. Його концентрація повинна бути такою, щоб у суслі спиртового виробництва вміст сухих речовин знаходився в межах 18-20 %, а концентрація спирту в дозрілій бражці - 10-11 об.%.

Отже, використання високодисперсного помолу дозволяє проводити теплову обробку замісів сировини при температурі не вище 100 ° С, зменшити витрати пари на розварювання замісів на 50-70 % у порівнянні з розварюванням замісів із крупного помолу зерна і збільшити вихід спирту на 2,5-3 %. А також в результаті використання високодисперсного помолу зерна зменшуються втрати зброджуваних речовин при розварюванні.

#### *Водно-теплова обробка крохмалевмістної сировини*

Зерно обробляють водою і теплом, щоб зруйнувати клітинну структуру сировини і перевести крохмаль в розчинний стан. Це необхідно для створення ідеального середовища для гідролізу білків і ферментативного оцукрювання крохмалю.

#### *Приготування замісу*

На кожен кілограм подрібненого зерна додають 2,5-3,0 л води. Враховуючи, що концентрація суслу повинна становити 18–20 % за вмістом цукру, кількість води регулюють залежно від крохмалистості та вологості зерна.

Температуру замісу регулюють у залежності від дисперсності помолу зерна. Для замісів із грубого помолу вона повинна бути 40-45° С.

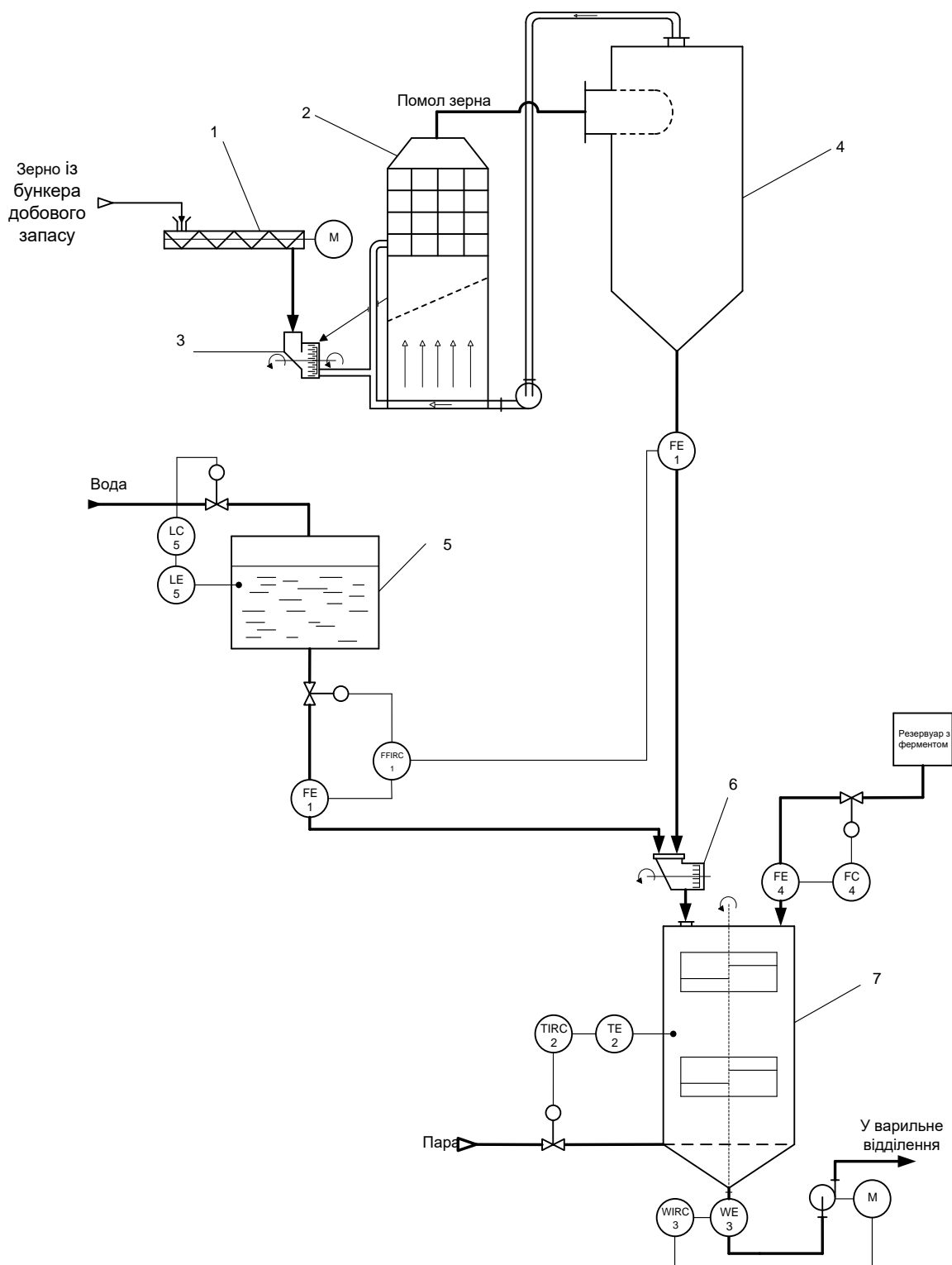


Рис.1.1. Технологічна схема приготування замісу: 1 — шнек;  
 2 — дезінтегратор; 3 — дробарка; 4 — циклон; 5 — резервуар з водою;  
 6 — дизмембратор; 7 — чанок замісу

Оптимальні температури для приготування замісів із помелів зерна пшениці, ячменю і жита -  $60^{\circ}\text{C}$ , сорго -  $70^{\circ}\text{C}$ , кукурудзи -  $80^{\circ}\text{C}$ . Найбільша кількість розчинних вуглеводів накопичується в замісах, приготовлених при температурі 60-

65 °С. Для приготування замісу використовують воду від дефлегматорів брагоректифікаційної установки. Підігрівають заміс вторинною парою.

Дози препаратів складають 0,3-0,4 од. амілолітичної здатності на 1 г крохмалю, або 0,2-0,4 кг Термамілу 120 L на 1 т крохмалю. Використання цих ферментних препаратів призводить до розрідження замісів, не викликає значного накопичення цукрів і не впливає на втрати зброджуваних речовин при розварюванні.

Для забезпечення гомогенності замісу його перемішують за допомогою дизмембратора пропелерною мішалкою і роторним апаратом.

Необхідно зазначити, що оптимальним є нагрівання замісу до температури 63 °С.

Технологічна схема процесу приготування замісу зображена на рис. 1.1.

### **1.3. Матеріальний та тепловий баланс технологічного об'єкту**

#### *Витрата теплової енергії на підігрів зернової сировини*

Витрата теплової енергії на підігрів крохмалистої сировини в спиртовому виробництві визначається видом і якістю зернової сировини, його крахмалистістю, ступенем підготовки до підігріву, якістю подрібнення, необхідним співвідношенням води, використовуваної при приготуванні замісу, температурними режимами і апаратною схемою, використовуваної для ведення процесу теплової обробки.

Температурні режими, ступінь подрібнення зерна, співвідношення води для кожного заводу визначені технологічним регламентом. Виходу спирту для різних видів зерна і схем виробництва визначені нормативами виходу етилового спирту при виробництві спирту з харчової сировини (наведені в Збірнику нормативів для спиртових та лікєро-горілчаних заводів СН 10-12446-99).

Загальна потрібна кількість тепла на підігрів визначається за формулою:

$$Q_p = k \times (Q_{вп} + G_3 \times C_3 + G_B \times C_B + Q_{вп})$$

де:

$Q_{\text{ВП}}$  - кількість тепла, внесене з гріючою парою, використаною для підігріву замісу, кДж;

$Q_{\text{р}}$  - кількість тепла, потрібного для розварювання, кДж;

$G_{\text{з}}$  - маса зерна, що переробляється, кг;

$Q_{\text{ВП}}$  – кількість тепла вторинної пари, використаної для підігріву замісу, кДж;

$G_{\text{вс}}$  - маса води, використаної для приготування замісу, кг;

$C_{\text{в}}$  - теплоємність води, кДж / ( кг x К);

$C_{\text{з}}$  - теплоємність зерна, кДж / ( кг x К);

$k$  - коефіцієнт, що враховує втрати тепла на стадії підігріву. Приймається виходячи зі стану ізоляції апаратів, трубопроводів тощо,  $k = 1,03 - 1,05$ .

За умови повного використання вторинної пари можливо знизити витрату теплової енергії на розварювання для колонних агрегатів до рівня витрат тепла на лінії механіко-ферментативної обробки крохмалистої сировини.

*Маса зерна, що переробляється визначається:*

$$V_{\text{сп}} = D \times B_{\text{е}}$$

де:  $V_{\text{сп}}$  - розрахункова кількість спирту, дал;

$D$  - крохмальність зерна, %;

$B_{\text{е}}$  - нормативний вихід спирту з тонни крохмалю з урахуванням надбавок,  
дал / т.

*Матеріальний баланс процесу:*

Енергія субстрату в процесі бродіння розподіляється так: 90% переходить на етанолі по 5% - у біомасу і теплоту.

#### **1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень**

Аналіз проводиться на основі технологічних регламентів, наукових досліджень, інструкцій з експлуатації технологічного обладнання та стандартів охорони навколишнього середовища з метою отримання найкращого перебігу

технологічного процесу. За результатами аналізу встановлюють номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення.

У разі різкого відхилення температури замісу від заданого значення слід подати сигнал обслуговуючому персоналу. Якщо температура замісу буде менша або більша  $63^{\circ}\text{C}$ , тоді заміс буде недостатньо нагрітий або перегрітий.

Саме при таких значеннях технологічних параметрів ми досягнемо найкращих результатів приготування замісу. Технологічна карта процесу наведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

## Технологічна карта процесу

№	Назва параметру	Позначення	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустиме відхилення
1	Витрата помолу зерна	$F_1$	$\text{м}^3/\text{год}$	0.1-5	$\pm 0.1$
2	Витрата води	$F_2$	$\text{м}^3/\text{год}$	0.5-16	$\pm 0.1$
3	Витрата ферменту	$F_3$	л/год	5	$\pm 0.5$
4	Температура замісу	$T_1$	$^{\circ}\text{C}$	63	$\pm 2.5$
5	Температура пари підігріву	$T_2$	$^{\circ}\text{C}$	151	$\pm 5$
6	Тиску пари підігріву	$P_1$	МПа	5	$\pm 0.1$
7	Рівень води в бункері	$L_1$	м	3	$\pm 0.1$
8	Рівень помолу зерна в циклоні	$L_2$	м	0,5-1,5	$\pm 0.1$
9	Вага замісу в чанку замісу	$W$	т	3	$\pm 0.1$

## **2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ**

### **2.1. Визначення і аналіз факторів, що впливають на технологічний процес**

Лише тоді, коли основні робочі параметри (такі як швидкість потоку, температура пари, подача води тощо) не суттєво відхиляються від ідеальних робочих значень, можна вважати підготовку суміші для виробництва спирту якісною. Останнє досягається за допомогою автоматичного регулювання параметрів процесу. Установлено, що під час приготування замісу швидкість потоку зерна не повинна збільшуватись вище верхньої критичної величини, оскільки через збільшення швидкості потоку зерна це призведе до швидкого заповнення циклону. Вологість зерна визначається, з одного боку, кількістю вологи, що поступає з зерном, а з іншої — кількістю вологи, що видаляється з нього в процесі транспортування з дезінтегратора в циклон. Кількість вологи, що поступає з зерном, залежить від витрати цього матеріалу і його вологості.

Продуктивність дизмембратора, яка, як правило, має бути постійною, визначає витрату замісу. Треба йти шляхом стабілізації подачі зерна, що забезпечує задану продуктивність і усуває збурення по даному каналу. Для цієї мети встановлюють автоматичні регулятори частоти обертання двигуна.

Температура замісу регулюється подачею пари, оскільки температура не підігрітого замісу залежить від температури води, яка подається у дизмембратор і де відбувається змішування з помолом зерна. Тому для підтримання потрібної температури замісу потрібно регулювати подачу пари.

При дозуванні подачу ферменту потрібно стабілізувати в заданому значенні щоб не відбулося передозування.

### **2.2. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрам об'єкта регулювання**

Структурна схема технологічного процесу як об'єкта керування зображена на рис. 2.1.

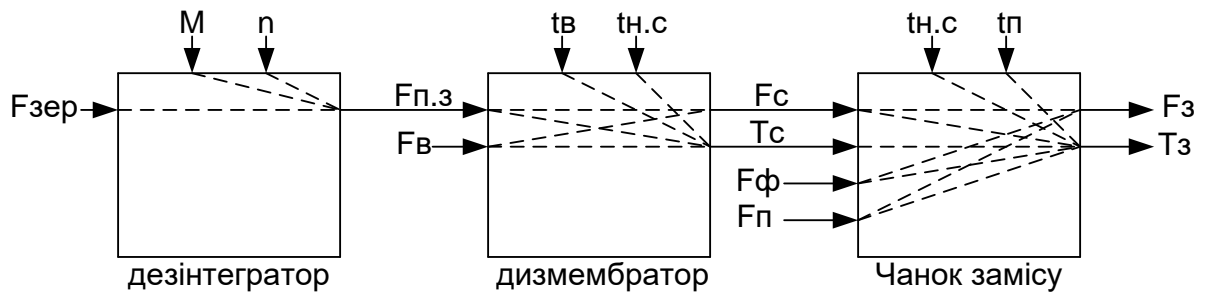


Рис. 2.1. Структурна схема технологічного процесу як об'єкта керування:  $F_{\text{зер}}$  – витрата зерна;  $F_{\text{п.з}}$  – витрата помолу зерна;  $F_{\text{в}}$  – витрата води;  $F_{\text{с}}$  – витрата суміші;  $F_{\text{ф}}$  – витрата ферменту;  $F_{\text{п}}$  – витрата пари;  $F_{\text{з}}$  – витрата замісу;  $M$  – розмір перемелених частинок;  $n$  – кількість обертів електродвигуна вентилятора;  $T_{\text{с}}$  – температура суміші;  $T_{\text{з}}$  – температура замісу;  $t_{\text{в}}$  – температура води;  $t_{\text{н.с}}$  – температура навколишнього середовища;  $t_{\text{п}}$  – температура пари.

### 2.3. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації (ФСА)

Метою керування технологічним процесом приготування замісу є точне та якісне приготування замісу у виробництві спирту етилового. Основним збуренням процесу є зміна подачі помолу зерна, витрати замісу, співвідношення витрати води з помолом зерна, а також зміна температури замісу. Основна регульована величина процесу – підігрівання замісу до заданої температури. Для її вимірювання використовують надійні первинні перетворювачі - термоперетворювачі опору. Регулюють температуру подачею пари у чанок замісу через барботер.

Подача пари в чанок замісу відбувається через барботер який знаходиться в нижній частині чанка. Температуру доцільно вимірювати по середині чанка замісу, тому що при опусканні замісу від точки вимірювання до точки підігріву температура може піднятися вище заданої і тим самим забезпечить компенсацію втрати тепла при транспортуванні замісу у варильне відділення. Якщо вимірювати температуру на виході з чанка як показано на рис. 2.1, то буде відбуватися перегрівання замісу у чанку та зниження температури замісу під час транспортування до варильного відділення, що призведе до збільшення енергетичних витрат під час варіння.



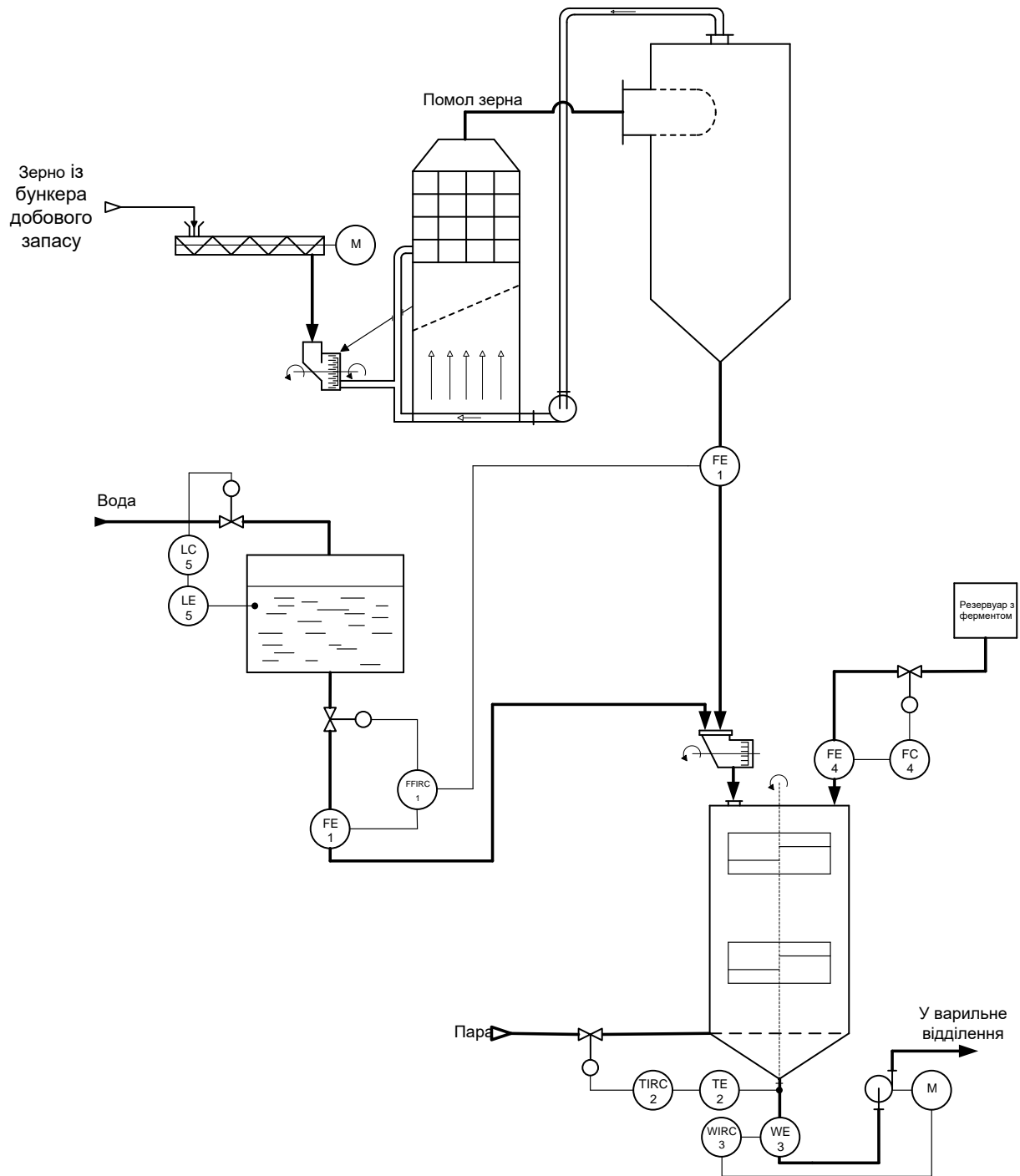


Рис 2.2 Регулювання температури замісу на виході з чанку замісу.

Для обчислення маси суміші використовується ваговий метод. Збуренням для процесу є подача в чанок замісу суміші помолу зерна з водою. Тому для стабільного підтримування маси замісу автоматичний регулятор подає сигнал на насос, який перекачує заміс у варильне відділення, змінюючи частоту його обертання. Використання такого контуру регулювання маси замісу є найбільш доцільнішим. У випадку якщо б перекачування замісу у варильне відділення

відбувалося з однаковою витратою, а регулююча дія відбувалася подачею зерна (рис 2.2), то такий контур регулювання призвів би до поломки дробарок.

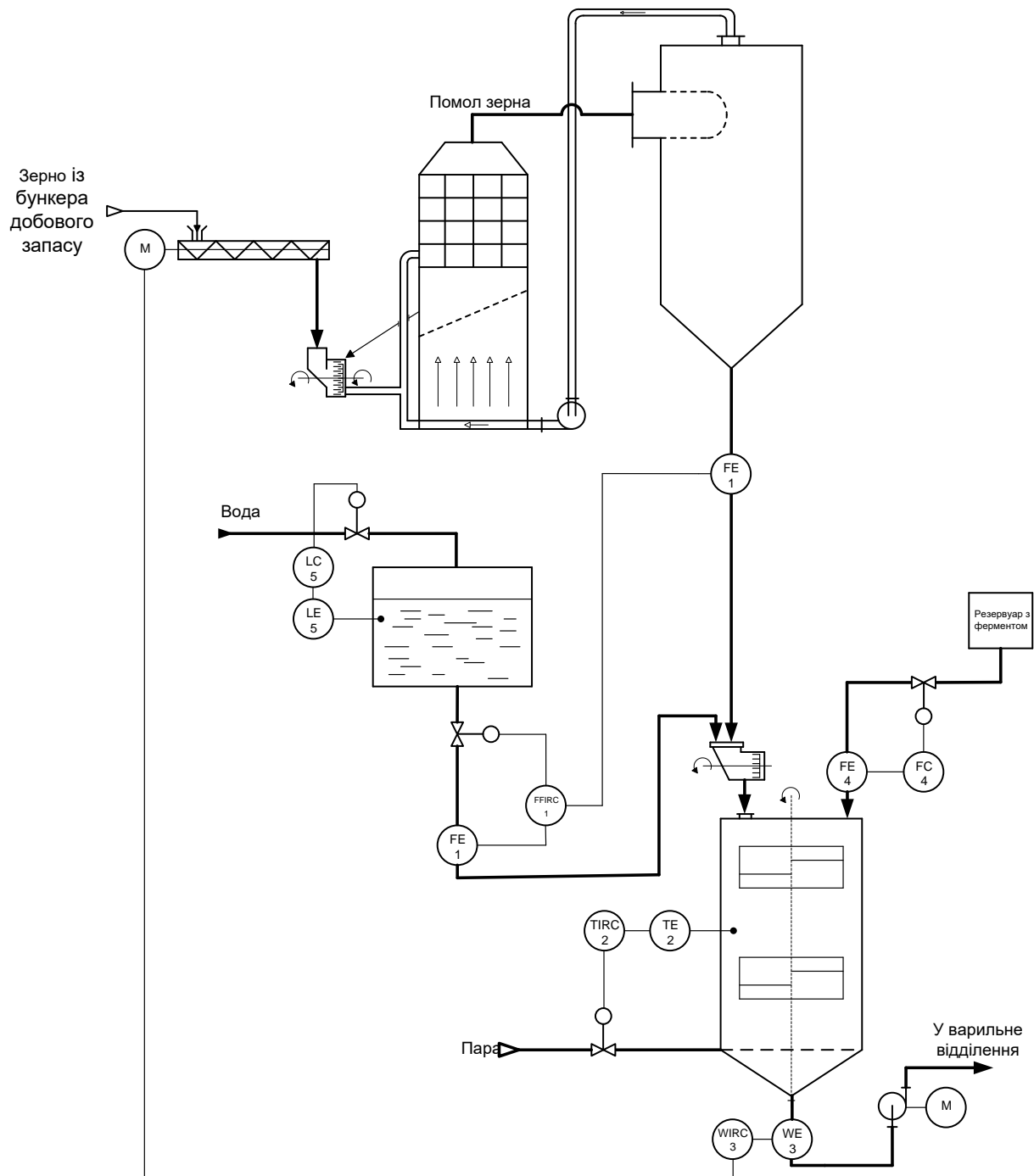


Рис 2.3. Регулювання маси замісу подачею зерна

Оскільки підчас помолу у дробарку подається зерно для компенсації маси замісу та завеликі частинки помолу, які вертаються з дезінтегратора поступають до дробарки на повторне перемелювання.

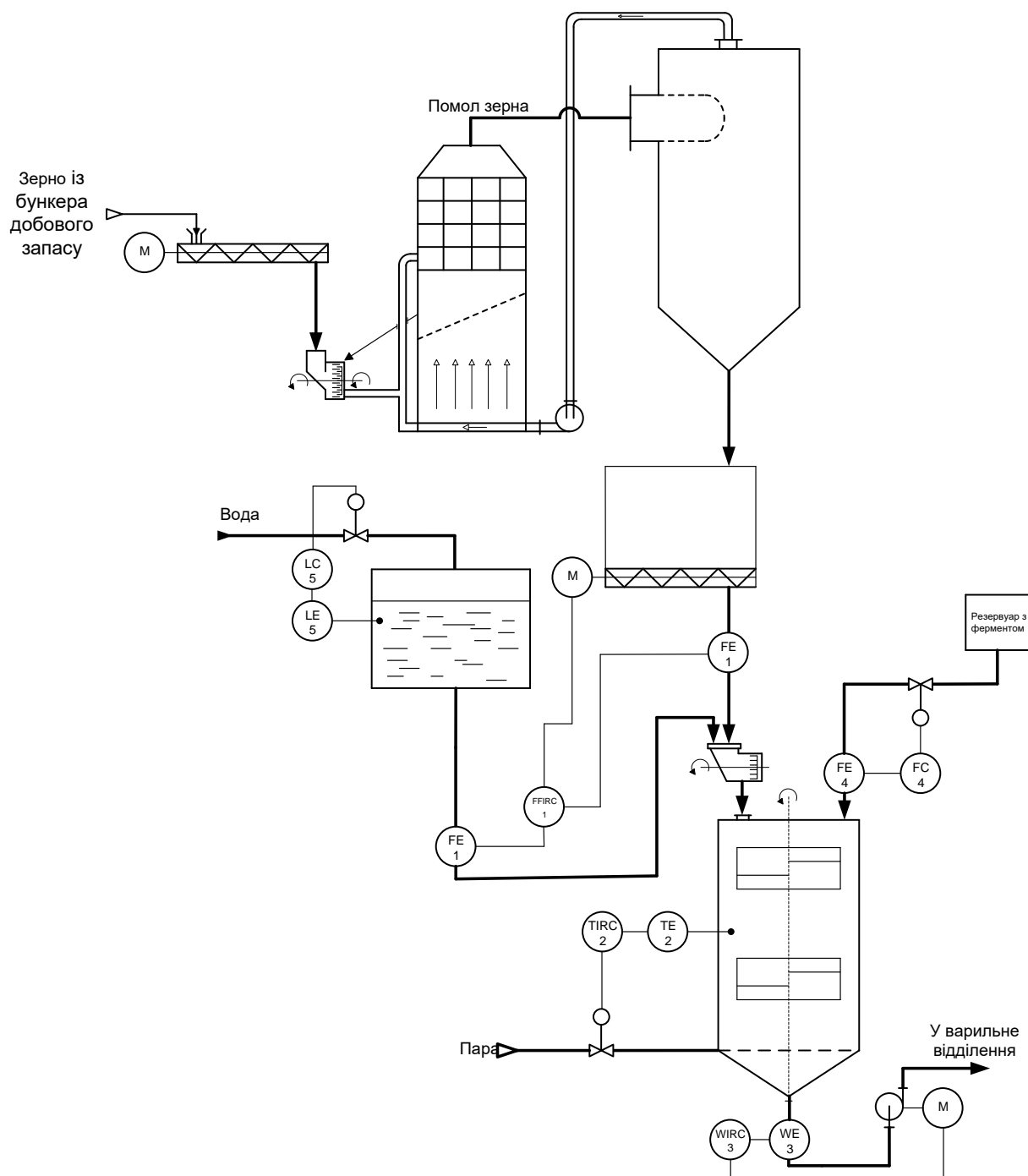


Рис 2.4 Регулювання співвідношення витрат вода-помол зерна

Співвідношення витрати води з помолу зерна повинно бути оптимальним, для того щоб після варіння з замісу отримати найбільшу кількість сухих матеріалів. Регулювання співвідношення відбувається подачею води в дизмембратор. Бо якщо б подача води була з постійною витратою, а регулювання здійснювалося зміною подачі помолу зерна (схема на рис 2.2), то для такого регулювання потрібно встановлення додаткового бункера зі шнеком для

накопичення помолу зерна та для дотримання відповідного співвідношення витрат вода-помол зерна.

В даній функціональній схемі автоматизації (ФСА) реалізовано такі контури автоматизації:

1. Система автоматичного регулювання співвідношення витрат вода - помол зерна.
2. Система автоматичного регулювання температури замісу у чанку замісу.
3. Система автоматичного регулювання об'єму замісу в чанку замісу.
4. Система автоматичного регулювання витрати ферменту.
5. Система автоматичного регулювання рівня води в резервуарі.

Реалізовано такий обсяг сигналізації та контурів запуску двигунів різного обладнання:

1. Сигналізація рівня в циклоні помолу зерна.
2. Сигналізація по захисту від відсутності потоку помолу зерна.
3. Запуск двигунів шнека, спірального вентилятора, дизмембратора, мішалки та дробарки.

Сучасні системи автоматичного регулювання дадуть змогу забезпечити приготування замісу у виробництві спирту етилового у відповідності з чинними нормативними документами, реалізуючи значення концентрації, підтримування температури на заданому рівні з допустимою похибкою та одержання максимальної кількості кінцевого продукту потрібної якості.

## **2.4. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації**

Для регулювання параметрів даного технологічного процесу застосуємо мікропроцесорний контролер Modicon M340 компанії Schneider Electric.

### **2.4.1. Опис характеристик мікропроцесорного контролера**

Загальний вигляд мікропроцесорного контролера Modicon M340 компанії Schneider Electric зображено на рис. 2.5.



Рис.2.5. Загальний вигляд мікропроцесорного контролера Modicon M340

Контролер Modicon M340 є надійним, потужним і достатньо компактним програмованим логічним контролером. Його доцільно застосовувати для автоматизації технологічних процесів в хімічній промисловості, нафтогазовому секторі, в пакуванні і обробленні різноманітних матеріалів, в харчовій промисловості, та інших галузях. Розширення можливості для інтеграції приводів Altivar і Lexium, графічних терміналів Magelis і модулів безпеки Preventa дозволяє в значній мірі полегшити конфігурування та експлуатацію обладнання компанії Schneider Electric. Контролер Modicon M340 ідеально підходить для спільного використання з ПЛК Modicon Premium і Modicon Quantum і здатний задовольнити будь-яким вимогам з автоматизації виробничих процесів та інфраструктури із застосуванням технології Transparent Ready.

Стандартні і вдосконалені процесорні модулі платформи автоматизації Modicon M340 забезпечують повноцінне керування всім монтажним шасі ПЛК, оснащеним максимум 11 слотами під установку:

- модулів аналогового вводу / виводу;
- модулів дискретного вводу / виводу;
- спеціалізованих модулів.

Чотири процесорних модулі відрізняються один від одного за обсягом пам'яті, швидкості обробки даних, типом і кількістю портів зв'язку та максимальній кількості каналів вводу / виводу.

Крім цього, залежно від моделі, процесорний модуль може мати:

- від 512 до 1024 каналів дискретного вводу / виводу;
- від 128 до 256 каналів аналогового вводу / виводу;
- від 20 до 36 лічильних каналів;
- від 0 до 2 портів EthernetTCP / IP (з вбудованими портом і мережевим

модулем або без них).

Залежно від моделі процесорні модулі платформи ModiconM340 мають:

- порт 10BASET/100BASETX Ethernet TCP / IP;
- шину CANopen;
- послідовний інтерфейс Modbus;
- TERпорт USB;

Кожен процесорний модуль комплектується картою пам'яті, яка призначена для:

- створення резервних копій програми (програми, символів і констант);
- активації стандартного web-сервера по вбудованому порту Ethernet класу

B10 Transparent Ready (залежно від моделі).

Карту пам'яті, яка постачається, можна замінити на карту іншого типу, придбану самостійно. При цьому необхідно, щоб карта пам'яті підтримувала:

- створення резервних копій програми та активацію стандартного web-сервера (аналогічно карті пам'яті з комплекту);
- 8 або 128 Мб вільного місця з опціональною картою пам'яті для зберігання додаткових даних, організованих у вигляді файлової системи (директорій і піддиректорій).

Для програмування процесорних модулів платформи автоматизації ModiconM340 необхідно мати будь-який з наступних програмних продуктів:

- інструментальну систему Unity ProSmall;

-інструментальну систему Unity ProMedium, Large або Extra Large, аналогічну до тієї, що використовується для програмування платформ автоматизації Modicon Premium і Modicon Quantum.

І залежно від вимог, додатково:

- програмний пакет Unity EFB для створення бібліотек EF і EFB;
- програму Unity SFCView для перегляду і діагностики додатків, написану мовою послідовних функцій (SFC) або Grafset.

Бібліотеки функціональних блоків дають змогу процесорним модулям платформи ModiconM340 виконувати функції управління на необхідному рівні за такими спеціалізованими напрямками:

- управління процесом по програмованим контурам управління (бібліотеки EF і EFB);
- управління рухом з використанням декількох незалежних осей управління (бібліотека MFB – Motion Function Block). Управління осями здійснюється за допомогою перетворювачів частоти Altivar 31/71 або сервоприводів Lexium 05/15, підключаються по шині CANopen.

Опис процесорних модулів ВМХР34 2020/2030 з вбудованим портом Ethernet TCP / IP

На лицьовій панелі вдосконалених процесорних модулів ВМХР34 2020/2030 передбачені наступні засоби індикації та роз'єми:

1. Гвинт для надійного кріплення модуля в слоті (маркування 0) монтажного шасі

2. Блок індикації, який залежно від моделі може мати 8 або 10 світлодіодних індикаторів:

- індикатор RUN (зелений): робота процесорного модуля (виконання програми);
- індикатор ERR (червоний): несправність процесорного модуля або системи;
- індикатор I / O (червоний): несправність модулів вводу / виводу;

- індикатор SERCOM (жовтий): обмін по послідовному інтерфейсу Modbus;
- індикатор CARDERR (червоний): карта пам'яті відсутня або несправна;
- індикатор ETHACT (зелений): обмін по мережі EthernetTCP / IP;
- індикатор ETHSTS (зелений): стан мережі EthernetTCP / IP;
- індикатор ETH 100 (червоний): швидкість передачі даних по мережі EthernetTCP / IP

(10 або 100 Мбіт / с)

Модуль живлення передбачений для кожного монтажного шасі VMXXBPrp00. Модулі живлення встановлюються в перші два слоти кожного монтажного шасі (з маркуванням CPS). Живлення, необхідне кожному монтажному шасі, залежить від типу та кількості встановлених у ньому модулів. Тому для кожного шасі необхідно скласти таблицю енергоспоживання для визначення найбільш відповідного модуля живлення VMXCPSppr0.

Конфігурація з одним монтажним шасі.

Монтажні шасі VMXXBPrp00 є основою платформи автоматизації ModiconM340 в конфігурації з одним або декількома монтажним шасі.

Монтажні шасі виконують такі функції:

- Механічна: використовується для встановлення всіх модулів у ПЛК (модулі живлення,

процесорні, дискретного і аналогового вводу / виводу, спеціалізовані). Шасі можна монтувати на панель, пластину або DINрейку: всередині шаф; на рамах агрегату і так далі.

- Електрична: монтажні шасі обладнані шинами BusX.

Шини призначені для:

- розподілу живлення кожного модуля на одному монтажному шасі;
- розподілу даних і службових сигналів по всьому ПЛК;
- "гарячої заміни" модулів під час роботи.



Згідно з ФСА висуваються наступні вимоги:

- наявність 6 аналогових входів
- наявність 5 аналогових виходів
- наявність 7 дискретних входів
- наявність 13 дискретних виходів

Для забезпечення необхідної кількості аналогових та дискретних входів/виходів я обрав наступні модулі розширення:

- ВМХАМІ 0800 – аналогових входів;
- ВМХАМО 0802 – аналогових виходів;
- ВМХДАІ1603 – модуль дискретних входів;
- ВМХДДО1602–модуль дискретних виходів.

#### **2.4.2. Опис програми функціонування контролера для автоматизації технологічного процесу приготування замісу у виробництві спирту етилового**

- ***Опис програми контуру регулювання співвідношення витрат води та помолу зерна:***

Подається вхідний аналоговий сигнал %IW0.3.19 в блок INT\_TO\_REAL, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок SCALING, де сигнал масштабується, а далі блок K\_SQRT видобування корення. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Подається вхідний аналоговий сигнал %IW0.3.14 в блок INT\_TO\_REAL, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок SCALING, де сигнал масштабується, а далі блок K\_SQRT видобування корення. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Відфільтровані сигнали подаємо на вхід блоку реалізації співвідношення RATIO, а далі на регулятор PIDFF. Для ручного керування використовуємо блок MS. Блок MUL\_REAL призначений для масштабування, від нього сигнал іде на блок REAL\_TO\_INT де він перетворюється з формату real у формат integer типу %QW0.4.0.

Реалізація контуру регулювання співвідношення витрат води та помолу зерна подана на рис.2.6.

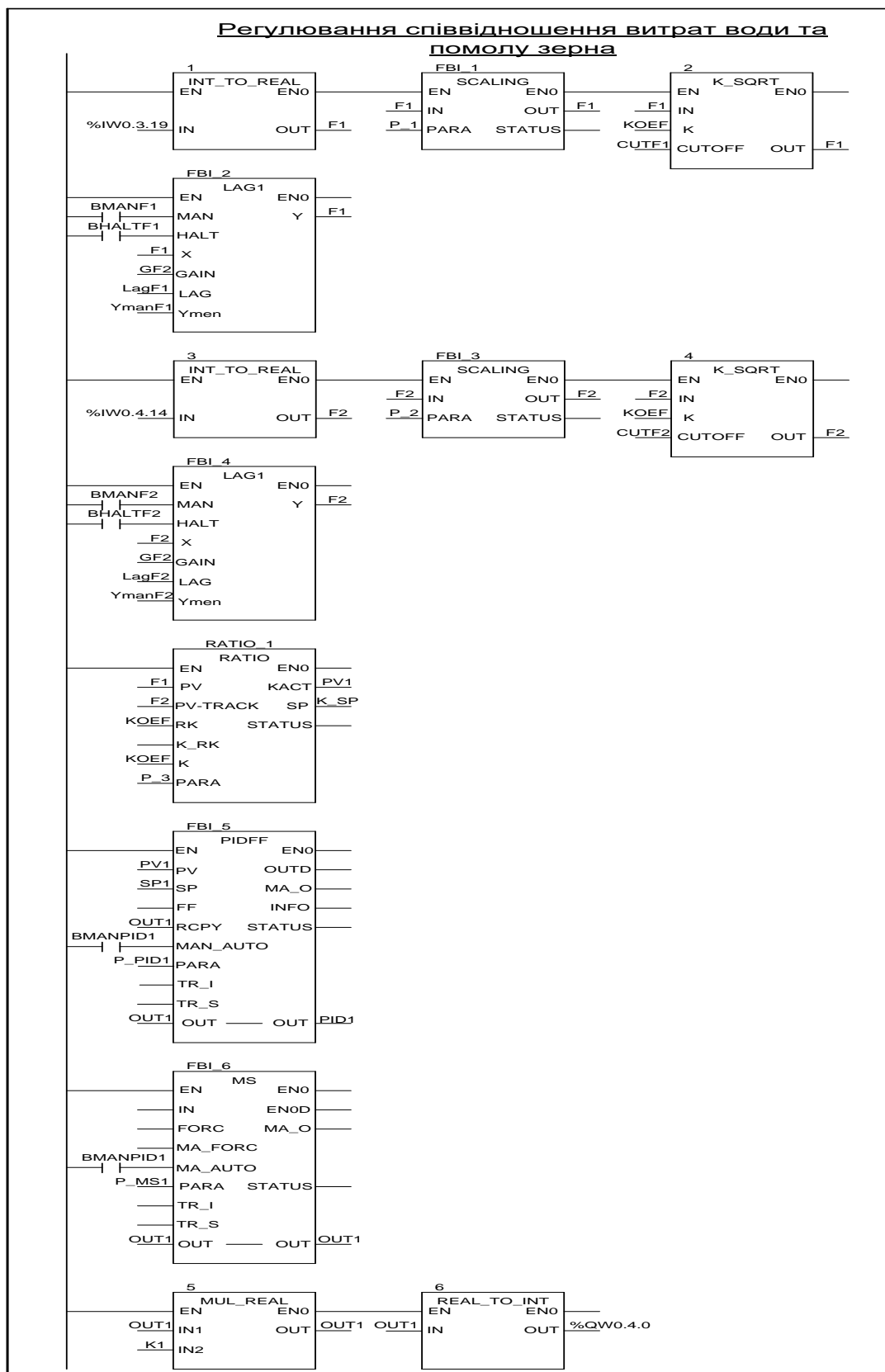


Рис.2.6. Регулювання співвідношення витрат води та помолу зерна

- **Опис програми контуру регулювання маси замісу в чанку:**

Подається вхідний аналоговий сигнал `%IW0.3.3` в блок `INT_TO_REAL`, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок `SCALING`, де

сигнал масштабується. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Відфільтрований сигнал подаємо на вхід блоку регулятора PIDFF. Для ручного керування використовуємо блок MS. Блок MUL\_REAL призначений для масштабування, від нього сигнал іде на блок REAL\_TO\_INT де він перетворюється з формату real у формат integer і на вихід подається сигнал %QW0.4.4.

Опис програми контуру регулювання розрідження здійснюється аналогічно.

Реалізація контуру регулювання маси замісу в чанку подана на рис 2.7.

- ***Опис програми контуру регулювання температури замісу у чанку замісу:***

Подається вхідний аналоговий сигнал %IW0.3.0 в блок INT\_TO\_REAL, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок SCALING, де сигнал масштабується. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Відфільтрований сигнал подаємо на вхід блоку регулятора PIDFF. Для ручного керування використовуємо блок MS. Блок MUL\_REAL призначений для масштабування, від нього сигнал іде на блок REAL\_TO\_INT де він перетворюється з формату real у формат integer і на вихід подається сигнал %QW0.4.1.

Реалізація контуру регулювання температури замісу у чанку замісу подана на рис.2.8.

- ***Опис програми контуру регулювання рівня води в резервуарі:***

Подається вхідний аналоговий сигнал %IW0.3.2 в блок INT\_TO\_REAL, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок SCALING, де сигнал масштабується. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Відфільтрований сигнал подаємо на вхід блоку регулятора PIDFF. Для ручного керування використовуємо блок MS. Блок MUL\_REAL призначений для масштабування, від нього сигнал іде на блок REAL\_TO\_INT де він перетворюється з формату real у формат integer і на вихід подається сигнал %QW0.4.3.

Реалізація контуру регулювання рівня води в резервуарі подано на рис.2.9.

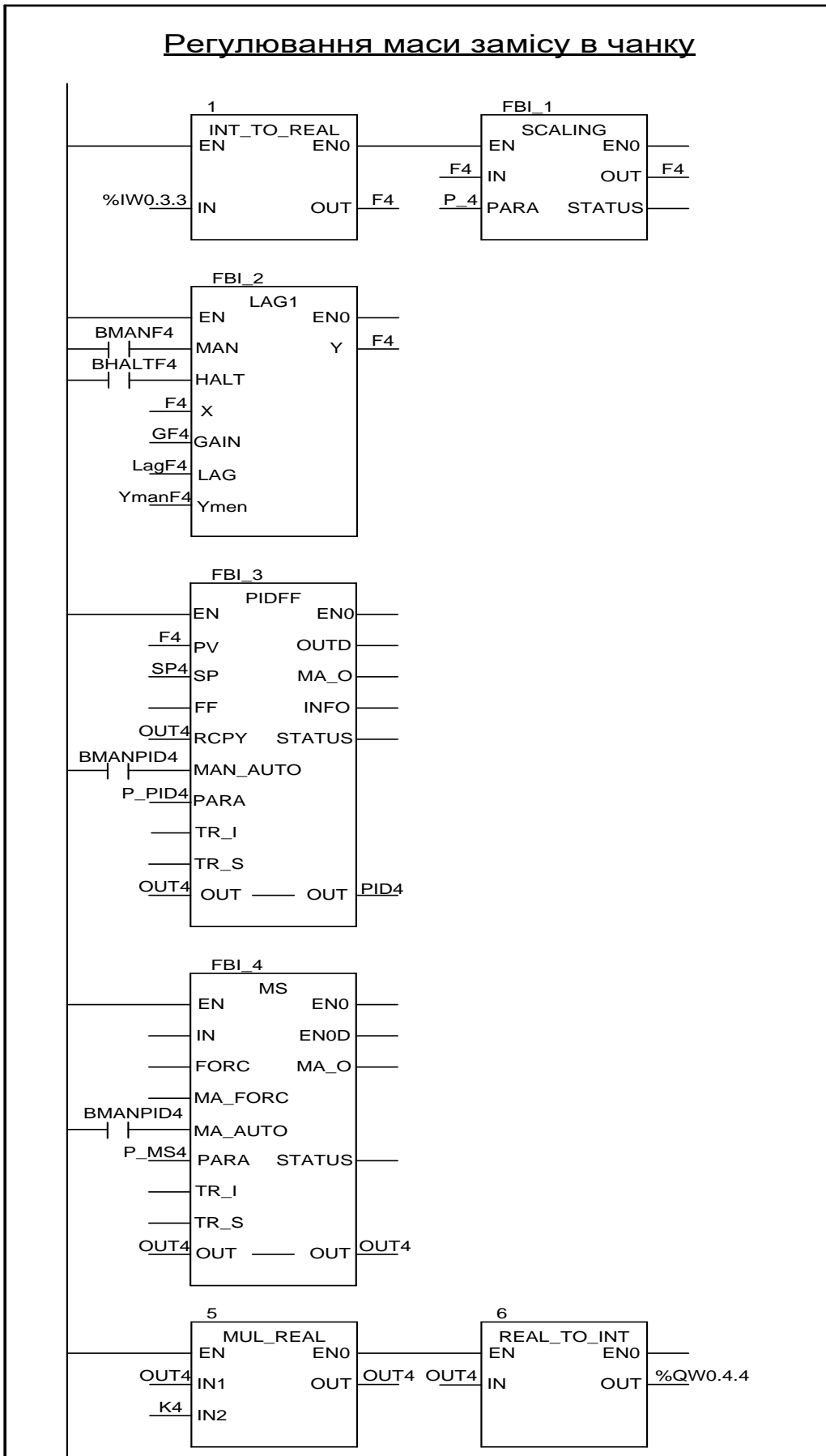


Рис.2.7. Регулювання маси замісу у чанку

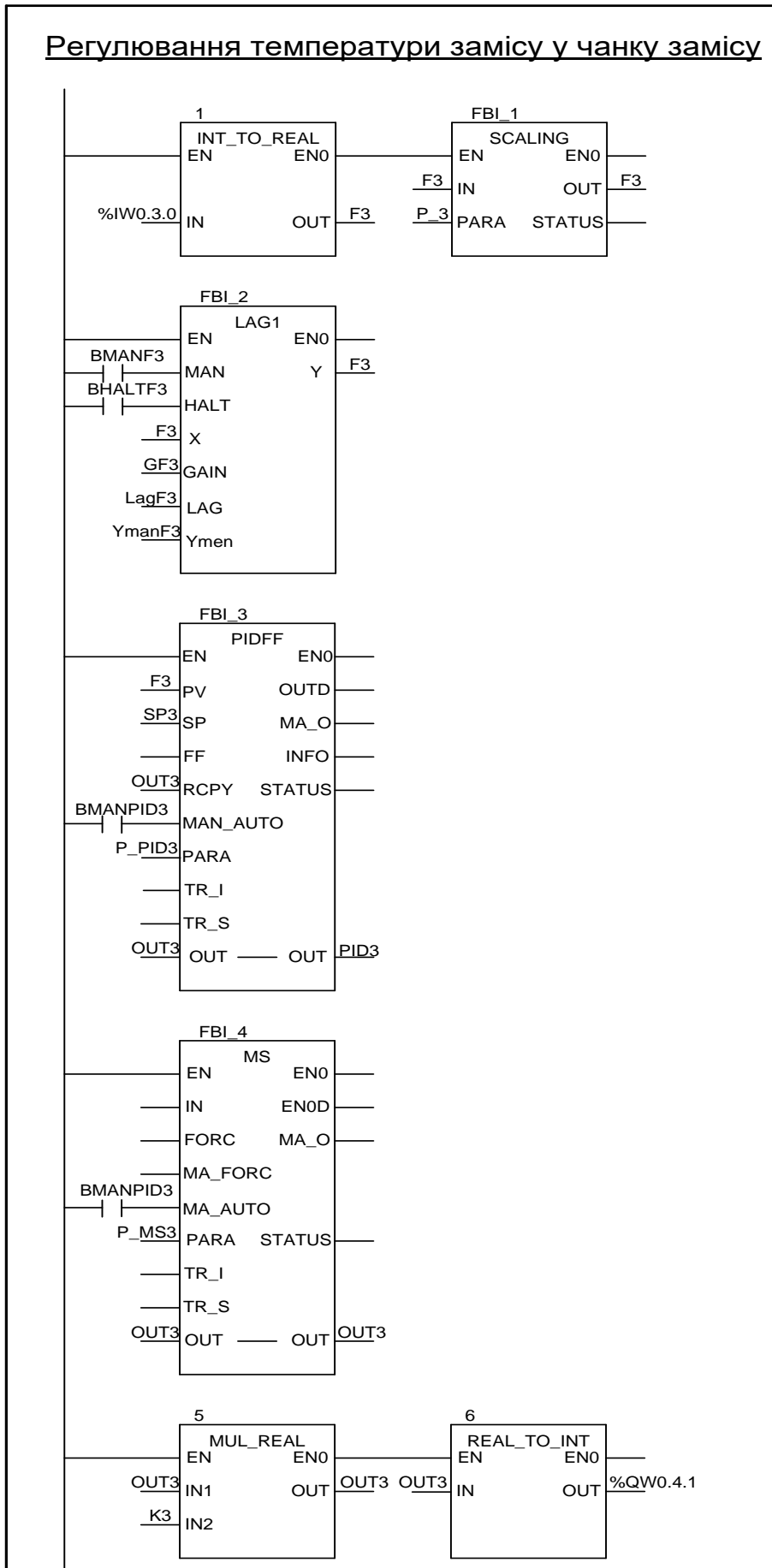


Рис.2.8. Регулювання температури замісу у чанку замісу

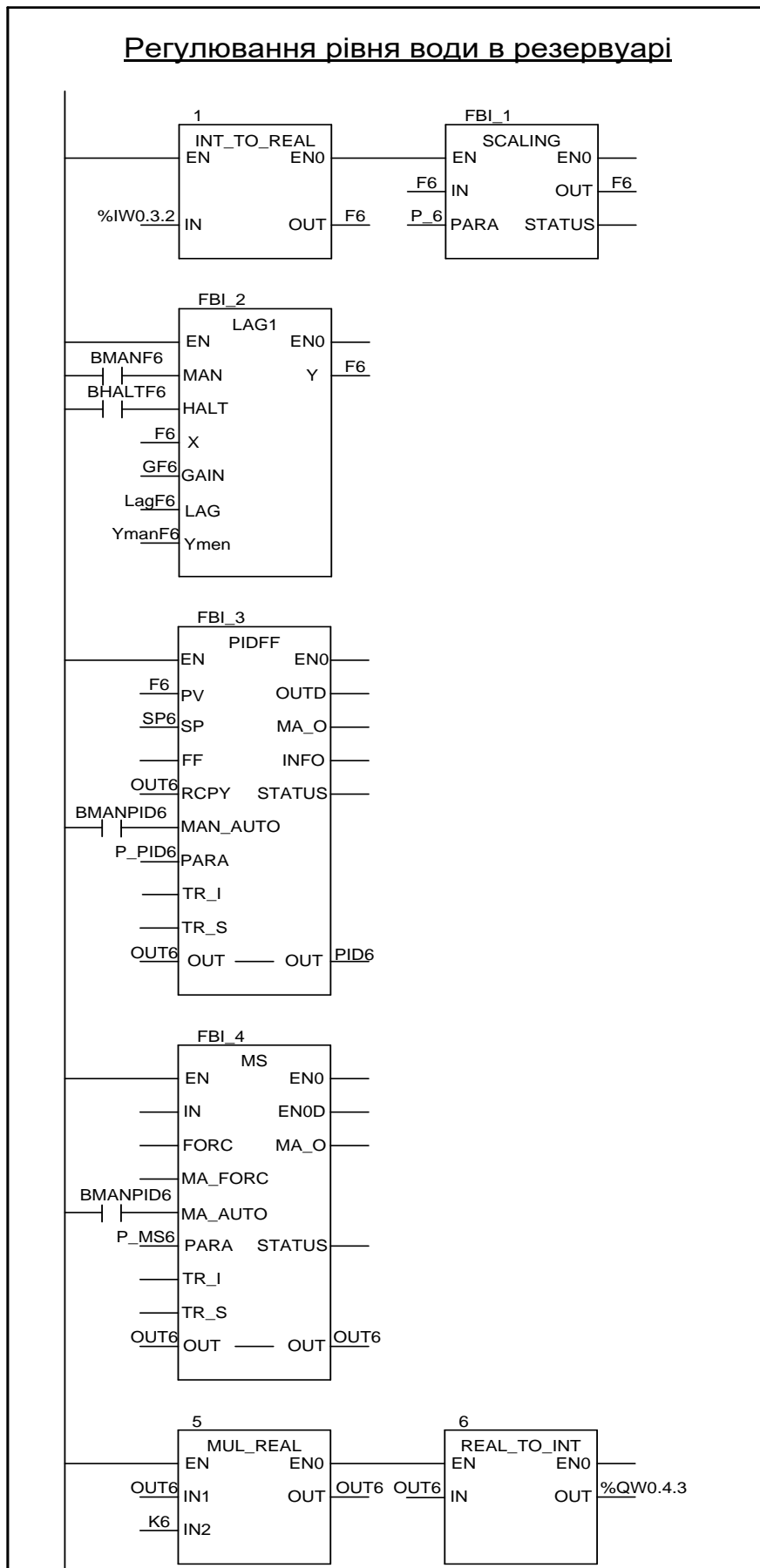


Рис.2.9. Регулювання рівня води в резервуарі

- ***Опис програми контуру регулювання витрати ферменту***

Подається вхідний аналоговий сигнал %IW0.3.1 в блок INT\_TO\_REAL, де перетворюється з формату integer в формат real, і подається в блок SCALING, де сигнал масштабується, а далі блок K\_SQRT видобування корення. Сигнал подаємо у фільтр LAG1. Відфільтрований сигнал подаємо на вхід блоку регулятора PIDFF. Для ручного керування використовуємо блок MS. Блок MUL\_REAL призначений для масштабування, від нього сигнал іде на блок REAL\_TO\_INT де він перетворюється з формату real у формат integer типу %QW0.4.2.

Реалізація контуру регулювання витрати ферменту подано на рис.2.10.

- ***Опис програми сигналізації рівня помолу зерна у циклоні***

У випадку коли на контролер подається сигнал % I0.2.11 засвідчується лампочка HL1, для сповіщення про досягнення верхнього положення рівня в циклоні, якщо на контролер подається сигнал % I0.2.7 засвічується лампочка HL2, для сповіщення про досягнення верхнього критичного положення рівня в циклоні.

- ***Опис програми захисту по відсутності потоку помолу зерна***

У випадку коли на контролер подається сигнал %I0.2.3, спрацьовує сигналізація, яка свідчить про відсутність потоку зерна, тоді від контролера подається сигнал %QW0.1.5, який відсікає подачу зерна.

- ***Опис програми запуску двигунів дробарки***

При запуску моторів від контролера подається сигнал %QW0.1.12 та %QW0.1.8, які запускають двигуни дробарки.

При зупинці моторів від контролера подається сигнал %QW0.1.6 та %QW0.1.10, які зупиняють двигуни дробарки.

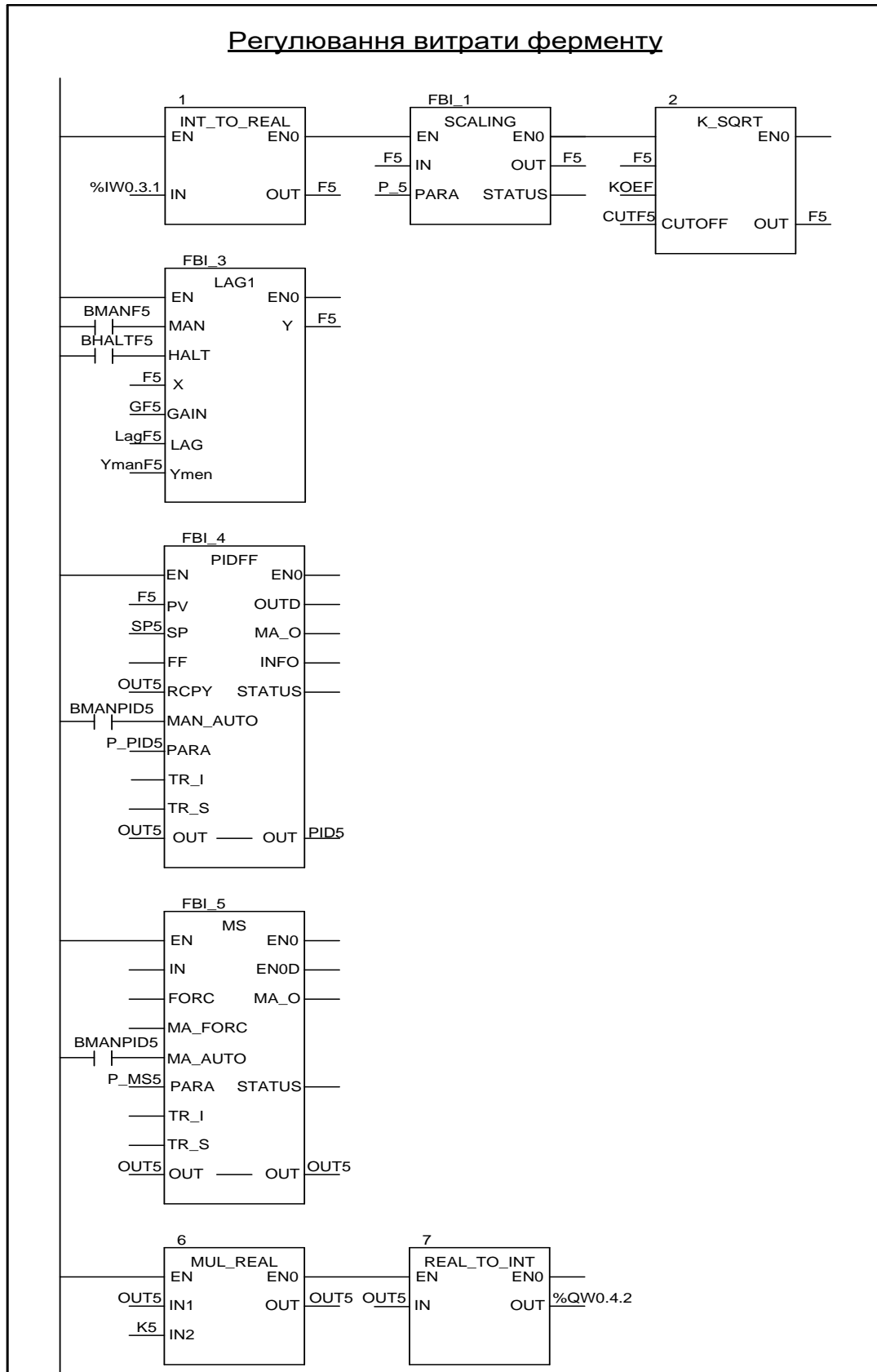


Рис.2.10. Регулювання витрати ферменту



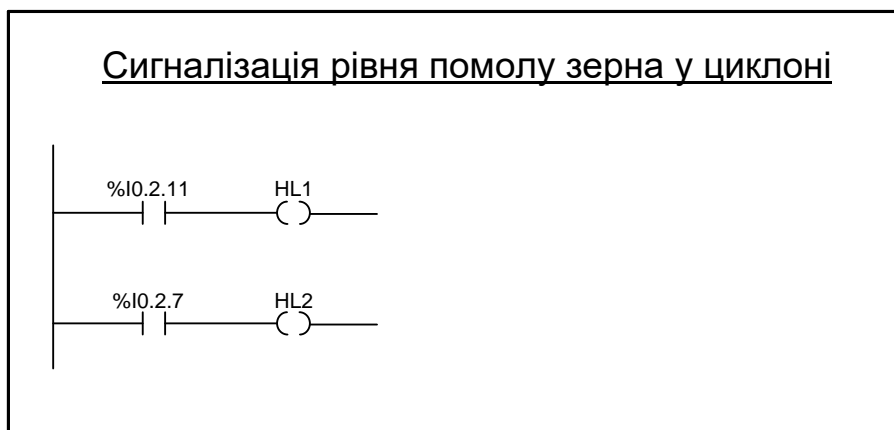


Рис.2.11. Програма сигналізації рівня помолу зерна у циклоні

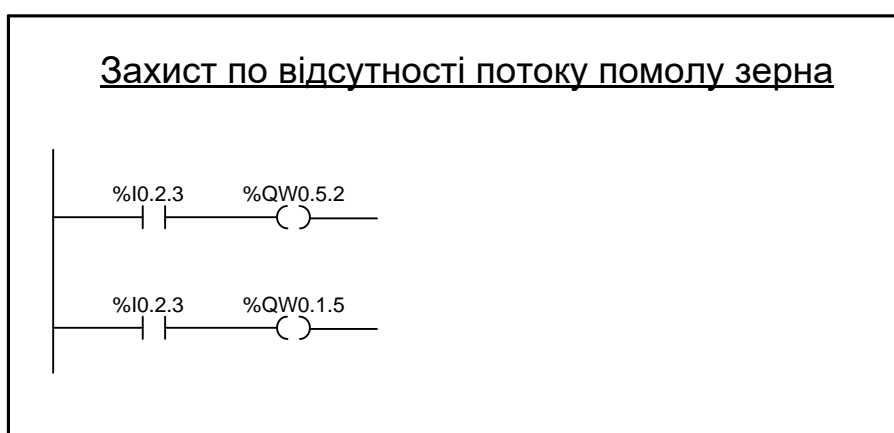


Рис.2.12. Програма захисту по відсутності потоку помолу зерна

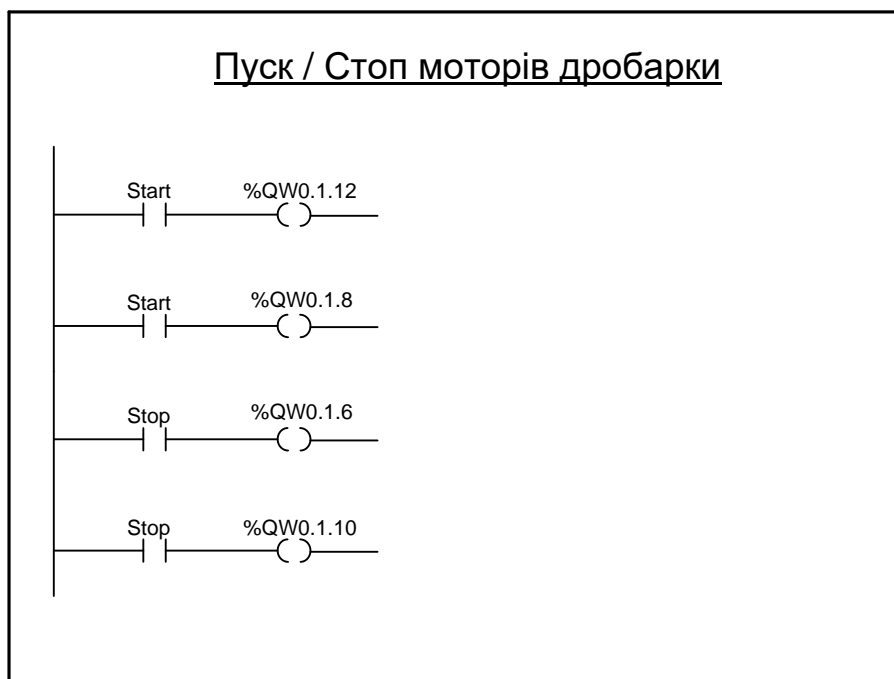


Рис.2.13. Програма запуску двигунів дробарки

- **Опис програми запуску двигуна шнеку**

При запуску мотора від контролера подається сигнал %QW0.1.3, який запускає двигун шнека.

При зупинці мотора від контролера подається сигнал %QW0.1.5, який зупиняє двигун шнека.

Запуск та стоп двигунів спірального центр обіжного вентилятора, дизмембратора та мішалки здійснюється аналогічно.



Рис.2.14. Програма запуску двигуна шнеку

### 3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

#### 3.1. Знаходження динамічної моделі об'єкта регулювання

В даному розділі роботи розрахована і досліджена за допомогою структурного моделювання система автоматичного регулювання (САР) температури замісу у чанку замісу. На листі ФСА ця система позначається позиціями 4-1 та 4-2 і позицією 2 на рис. 3.1.

Основним показником процесу підігрівання замісу є температура в чанку замісу і тільки у випадках великих агрегатів, коли температура по висоті змінюється, доцільно використовувати температуру замісу на виході, яка відповідає середній температурі матеріалу. Стабілізація температури в чанку замісу здійснюється зміною витрати гріючої пари.

Для розрахунку запропонованої системи необхідно побудувати математичну модель процесу підігрівання замісу як об'єкта регулювання каналами регулюючої та збурюючої дії. Збурення, які впливають на температуру в чанку замісу, розглянуто в розділі 2, де процес приготування аналізується як об'єкт керування.

*Таблиця 3.1.*

#### **Експериментальні значення кривої розгону по температурі в чанку замісу**

Час, с	Температура, °С
0	63
7.8	63.9
16.25	64.8
22	65.7
27.2	66.6
32.9	67.5
36.55	68.4
41.65	69.3
50.6	70.2
61.86	71.1
78.72	72.5
100.24	73.9
132.2	74.5
157.5	75
180	75

Регульованою величиною об'єкт регулювання (ОР) є температура в чанку замісу, а збурюючою дією – зміна витрати замісу на 15%. Задане значення регульованої величини – 63°C.

Вихідними даними для розрахунку САР є експериментальна крива розгону, а також вимоги до якості регулювання. Значення експериментальних значень кривої розгону по температурі в чанку замісу, отримані при стрибкоподібній зміні витрати пари на 2.5 т/год показані в таблиці 3.1.

Функція передачі ОР каналом збурюючої дії має вигляд :

$$W(p) = \frac{0.9}{(15p+1)^2}, \text{ } ^\circ\text{C}/\%$$

Вимоги до якості процесу регулювання сформовані згідно з вимогами технологічного регламенту процесу підігрівання замісу у виробництві спирту:

1. Максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ .
2. Допустима похибка регулювання  $\Delta = 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$
3. Допустимий час регулювання  $t_p = 200 \text{ с}$
4. Ступінь коливальності  $m = 0.35$
5. Друга інтегральна оцінка перехідного процесу за регулюючою дією – min.

Для розрахунку і дослідження системи автоматичного регулювання, потрібно математично описати об'єкт регулювання, тобто знайти рівняння, які дають змогу розраховувати зміни регульованої величини (вихідної величини) в часі під дією різних вхідних величин. Такі рівняння можуть бути у вигляді перехідних функцій, диференціальних рівнянь або функцій передачі. Система таких рівнянь є математичною моделлю об'єкта регулювання.

### 3.2. Вибір структури моделі та розрахунок її параметрів

З вигляду експериментальної кривої розгону підігрівання замісу (рис. 3.1), видно, що ОР є із самовирівнюванням.

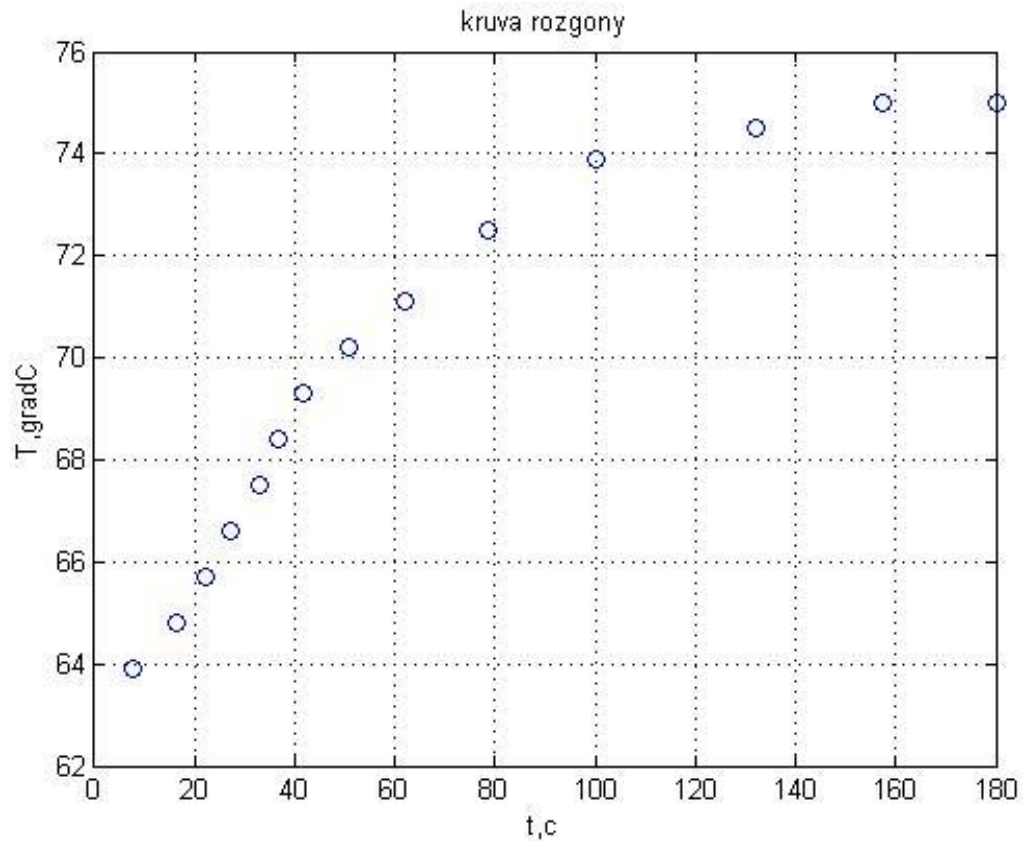


Рис. 3.1. Експериментальна крива розгону підігрівання замісу по температурі в чанку замісу, отримана стрибкоподібною зміною витрати пари на 2.5 т/год

Для опису динамічних властивостей такого ОР застосуємо модель у вигляді функції передачі, що складається з послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з однаковими сталим часу

$$W(p) = \frac{1}{\prod_{i=1}^n \left( \frac{T_1}{i} p + 1 \right)}, \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість аперіодичних ланок;  $T_1$  – стала часу першої аперіодичної ланки.

Алгоритм знаходження параметрів математичної моделі у вигляді (3.1) є такий:

1. З експериментальної перехідної функції знаходять значення часу  $t_1$ , що відповідає значенню перехідної функції  $h^e(t_1) = h_1 = 0.748h(\infty)$ . Далі визначають момент часу  $t_2 = 0.5t_1$  і відповідне йому значення експериментальної перехідної функції  $h^e(t_2) = h_2^e$ .

2. З таблиці 3.2 знаходять найближче до знайденого  $h_2^e$  розрахункове значення  $h_2$  і відповідне йому значення  $n$ .

Таблиця 3.2.

Розрахункове значення  $h_2$  і відповідне йому значення  $n$ 

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h_2$	0.3934	0.2994	0.2423	0.2024	0.1728	0.1497	0.1311	0.1160	0.1053	0.0926
$D_n$	0.962	0.642	0.524	0.462	0.421	0.391	0.371	0.354	0.339	0.321

3. Визначають сталу часу  $T_l$  за формулою

$$T_l = D_n \cdot t_l, \quad (3.2)$$

де  $D_n = 0.962 / \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}$  – коефіцієнт, значення якого залежать від  $n$  і наведені в

таблиці 3.2. За формулою (3.2) знаходять всі інші сталі часу.

4. Адекватність отриманої моделі оцінюють порівнянням теоретичних значення  $h(t)$  із експериментальними.

Згідно методу побудуємо спочатку нормовану криву розгону (рис 3.2), з якої визначаємо час  $t_1 = 54 \text{ c}$ , відповідно  $t_2 = t_1 / 2 = 54 / 2 = 27 \text{ c}$  і значення  $h(t_2) = 0.3$ . Для знайденого значення  $h(t_2)$  з таблиці 3.2 визначаємо кількість аперіодичних ланок  $n=2$ .

Програма розрахунку параметрів вибраної моделі і перевірка її адекватності виконана в середовищі Matlab і наведена нижче.

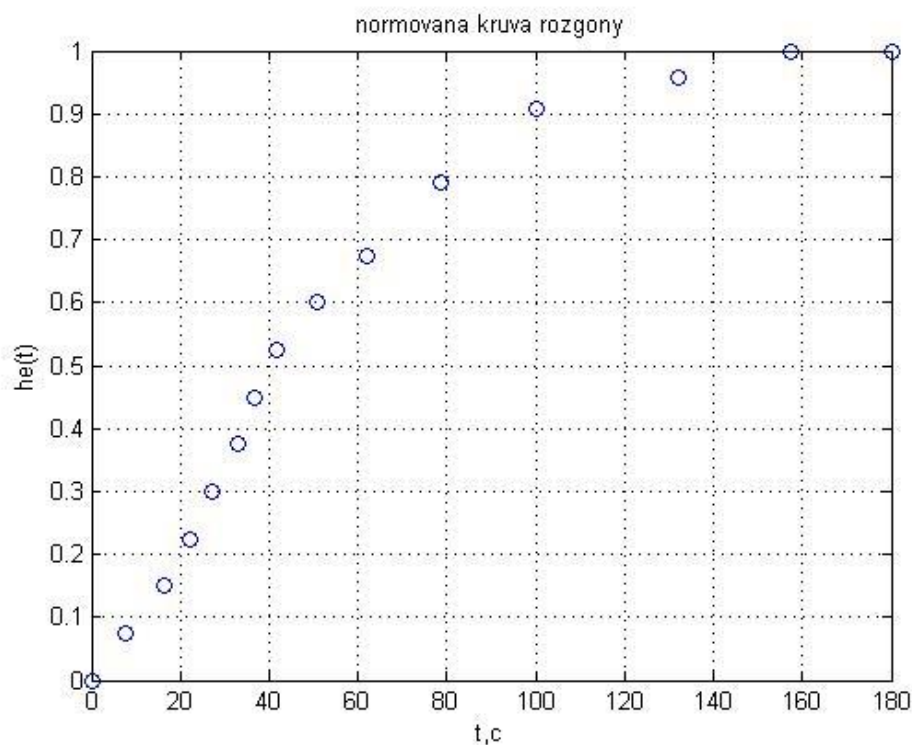


Рис. 3.2. Нормована крива розгону ОР

```
clc
```

```
t=[0 7.8 16.25 22 27.2 32.9 36.55 41.65 50.6 61.86 78.72 100.24 132.2 157.5 180];
```

```
T=[63 63.9 64.8 65.7 66.6 67.5 68.4 69.3 70.2 71.1 72.5 73.9 74.5 75 75];
```

```
N=length(T);
```

```
figure(1);plot(t,T,'o');grid;
```

```
title('kruva rozgony');
```

```
xlabel('t,c');
```

```
ylabel('T,gradC');Tn=75;
```

```
he=(T-63)./(Tn-63);
```

```
figure(2);plot(t,he,'o');grid;
```

```
title('normovana kruva rozgony');
```

```
xlabel('t,c');
```

```
ylabel('he(t)');
```

```
h1=0.748;t1=54;
```

```
t2=t1/2;
```

```
n=2;
```

```
D=0.642;
```

```
T1=D*t1
```

```
h_roz=(1-exp(-t./T1)).^n;
```

```

T_roz=(Tn-63)*h_roz+63;
figure(3);plot(t,T,'o',t,T_roz),grid
poh=((he-h_roz)*100);
pohubka=max(abs(he-h_roz))*100
K=(Tn-63)/2.5

```

Результатами виконання програми є отримання таких значень: стала часу  $T_1 = 34.6680$  с, коефіцієнт передачі  $K = 4.8$  °C/(т/год).

Експериментальна ('o') та розрахункова криві розгону підігрівання замісу в чанку замісу наведені на рис. 3.3.

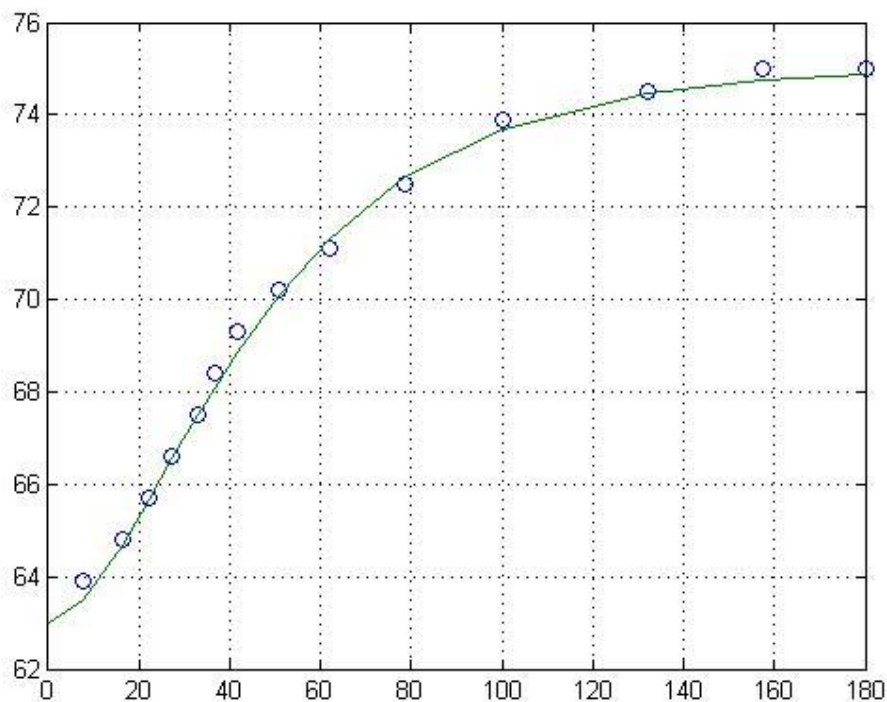


Рис. 3.3. Експериментальна ('o') та розрахункова криві розгону підігрівання замісу в чанку замісу

Оскільки максимальна зведена похибка апроксимації кривої розгону становить 3.6083 % і не перевищує 5%, то знайдена модель ОР буде:

$$W_{OP}(p) = \frac{4.8}{(34.6680p + 1)^2} \quad (3.3)$$

Вона є адекватною і її можна в подальшому застосовувати для вибору регулятора і розрахунку його параметрів.



### 5.3. Вибір регулятора за законом регулювання та розрахунок параметрів його настроювання

Для регулювання температури в чанку замісу обираємо одноконтурну систему регулювання з ПІ-регулятором.

Метод розширених частотних характеристик базується на амплітудно-фазовому критерії стійкості (критерій Найквіста), який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик застосовуються розширені частотні характеристики.

Розширена частотна характеристика системи з відомою функцією передачі визначається заміною в ній оператора Лапласа виразом

$$p = -m\omega \pm i\omega,$$

де:  $m$  – ступінь коливальності, який характеризує запас стійкості;

$\omega$  – кругова частота.

Амплітудно-фазовий критерій стійкості, як критерій запасу стійкості за розширеними частотними характеристиками формулюється так: якщо розширена амплітудно-фазова характеристика (РАФХ) розімкнутої САР  $W_{pc}(m, i\omega)$  на частоті  $\omega_{\pi}$  проходить через точку  $(-1, i0)$ , не охоплюючи її на більш високих частотах, то корені характеристичного рівняння замкнутої системи будуть розташовані в лівій півплощині на променях  $p = -m\omega \pm i\omega$ , і всередині сектора, обмеженого цими променями.

Математично умова забезпечення заданого запасу стійкості формується на основі амплітудно-фазового критерію стійкості Найквіста, в якому застосовуються розширені частотні характеристики розімкнутої системи автоматичного регулювання

$$W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega) \cdot W_{ap}(m, i\omega) = -1,$$

де:  $W_{op}(m, \omega) = A_{op}(m, \omega) \cdot e^{i\varphi_{pc}(m, \omega)}$  - РАФХ об'єкта регулювання;

$W_{ap}(m, i\omega) = A_{ap}(m, \omega) \cdot e^{i\varphi_{ap}(m, \omega)}$  - РАФХ регулятора;

$A_{OP}(m, \omega)$ ,  $A_{AP}(m, \omega)$  - розширені амплітудно-частотні характеристики відповідно об'єкта регулювання та регулятора;

$\varphi_{OP}(m, \omega)$ ,  $\varphi_{AP}(m, \omega)$  – розширені фазочастотні характеристики відповідно об'єкта регулювання та регулятора.

Враховуючи те, що в розімкнутій САР об'єкт регулювання та автоматичний регулятор з'єднані послідовно, то з наведеного вище виразу отримуємо систему рівнянь у вигляді

$$\left. \begin{aligned} A_{OP}(m, \omega) \cdot A_{AP}(m, \omega) &= 1 \\ \varphi_{OP}(m, \omega) + \varphi_{AP}(m, \omega) &= -\pi \end{aligned} \right\}.$$

Якщо розширена амплітудно-фазова характеристика розімкнутої САР проходить через точку  $(-1, i 0)$ , то звичайна її АФХ не охоплює цю точку і система має запас стійкості, за амплітудою  $\sigma$ , так і за фазою  $\gamma$ .

Для розрахунку параметрів регуляторів на заданий запас стійкості системи, перш за все задаються заданим значенням ступеня коливальності  $m_{зад}$ .

#### *Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора*

Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор) є паралельним з'єднанням пропорційної та інтегральної ланок, функція передачі якого має вигляд

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{із}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_{із} p} \right),$$

де:  $k_p$  – коефіцієнт передачі регулятора;

$T_{із}$  – час ізодрому (інтегрування).

Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора здійснюється в два етапи:

- 1) в площині параметрів настроювання регулятора  $\left( k_p, \frac{k_p}{T_{із}} \right)$  знаходять границю області заданого запасу стійкості САР;
- 2) із знайденої границі заданого запасу стійкості вибирають оптимальні значення параметрів настроювання регулятора. Під *оптимальними* розуміють такі

значення параметрів настроювання, які при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення обраного критерію оптимальності. В практичних розрахунках звичайно критерієм оптимальності обирають інтегральну оцінку.

Згідно рівняння для розрахунку параметрів настроювання ПІ-регулятора необхідно знати розширені частотні характеристики об'єкту регулювання і ПІ-регулятора

$$W_{OP}(m, i\omega) = U(m, \omega) + iV(m, \omega),$$

де:  $U(m, \omega)$ ,  $V(m, \omega)$  – дійсна та уявна розширені частотні характеристики об'єкта регулювання, які для спрощення надалі позначимо відповідно  $U$  та  $V$ .

РАФХ ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{AP}(m, i\omega) = K_p + \frac{K_p}{T_{i3}} \cdot \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)}.$$

$$(U + iV) \left[ K_p + \frac{K_p}{T_{i3}} \frac{1}{(-m\omega + i\omega)} \right] = -1.$$

$$-m\omega U K_p + i\omega K_p U - im\omega V K_p - \omega K_p V + U \frac{K_p}{T_{i3}} + iV \frac{K_p}{T_{i3}} - m\omega + i\omega = 0.$$

Звідси отримуємо систему двох рівнянь з двома невідомими  $K_p$  і  $T_{i3}$

$$\begin{cases} U \frac{K_p}{T_{i3}} - \omega(mU + V)K_p - m\omega = 0 \\ V \frac{K_p}{T_{i3}} - \omega(U - mV)K_p - \omega = 0 \end{cases}$$

Розв'яжемо отриману систему рівнянь відносно  $K_p$  і  $K_p/T_{i3}$

$$\begin{cases} \frac{K_p}{T_{i3}} = -\omega(m^2 + 1) \frac{V}{U^2 + V^2} \\ K_p = -\frac{U + mV}{U^2 + V^2} \end{cases}.$$

Враховуючи, що дійсна і уявна частотні характеристики визначаються як  $U(m, \omega) = A_{OP}(m, \omega) \cos \varphi_{OP}(m, \omega)$ ,  $V(m, \omega) = A_{OP}(m, \omega) \sin \varphi_{OP}(m, \omega)$ ,

одержимо значення параметрів настроювання в іншому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{iz}} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}; \\ k_p = \frac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}. \end{cases}$$

Необхідно виділити робочий діапазон частот регулятора. Граничні частоти цього діапазону  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$  знаходять числовим або графічним розв'язуванням рівнянь

$$\varphi_{OP}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} m, \quad \text{- частота I-регулятора}$$

$$\varphi_{OP}(m, \omega^{**}) = -\pi, \quad \text{- частота II-регулятора}$$

Застосуємо простіший графічний спосіб визначення  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$ .

Програма в середовищі MATLAB *rozrahfchh.m* для знаходження значень  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$  наступна:

```
clear;clc
T=34.6680; k=4.8; m=0.35;
w=[0:0.001:0.1];
p=-m*w+i*w;
W=k./(T*p+1).^2;
fi=phase(W);
j=1:length(w);
a(j)=-pi;
b(j)=-pi/2+atan(m);
plot(w,fi,w,a,w,b);grid;
xlabel('w, рад/с ');ylabel('fi,рад ');
title('Розширена фазочастотна характеристика');
```

У результаті виконання програми отримано графік розширеної частотної характеристики ОР, а з якого визначаю частоти зрізу  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$ .

Розширена фазочастотна характеристика ОР з частотами зрізу

$\omega^* = 0.0163$  рад/с ;  $\omega^{**} = 0.0817$  рад/с наведена на рис. 3.4.

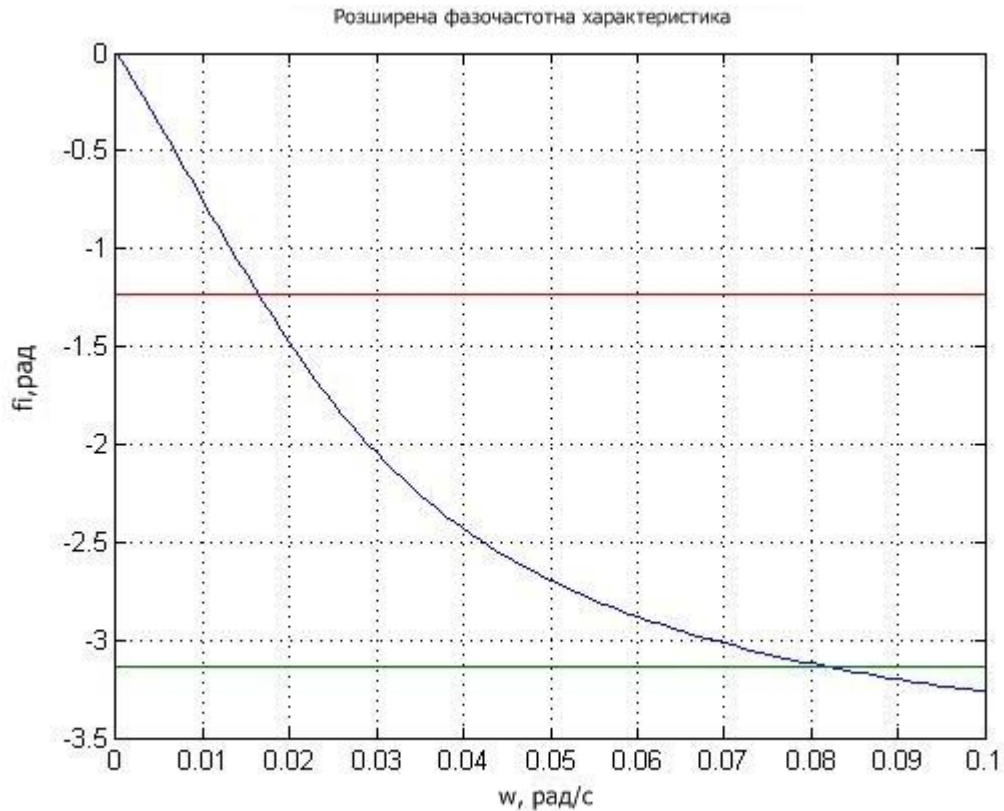


Рис.3.4. Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання з

частотами зрізу  $\omega^* = 0.0163$  рад/с ;  $\omega^{**} = 0.0817$  рад/с

Для заданого ступіня коливальності  $m$  в площині параметрів  $k_p$ ,  $k_p/T_{i3}$  будуюмо границю області запасу стійкості, а з неї визначаємо оптимальні значення параметрів настроювання  $(k_p)_{\text{опт}}$ ,  $(k_p/T_{i3})_{\text{опт}}$ , які отримані при другій мінімальній інтегральній оцінці:

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{\text{зад}}(t)]^2 dt$$

де:  $y(t)$  - крива розгону замкнутої САР по регулюючій дії;

$y_{\text{зад}}(t)$ - задане значення регульованої величини.

Програма в середовищі MATLAB *ocinka.m* для знаходження оптимальних параметрів настроювання регулятора:

```
clear;clc
T=34.6680; k=4.8; m=0.35;
w=[0.0163:0.001:0.0817];
p=-m*w+i*w;
Wor=k./(T*p+1).^2;
fi=phase(Wor);
Aor=abs(Wor);
kp_Ti=-w*(m^2+1).*sin(fi)./Aor;
kp=(-cos(fi)-m.*sin(fi))./Aor;
for i=1:length(w)
    t=[0:0.1:500];
    Wop=tf(k,[T 1].^2);
    War1=tf(kp(i),[1]);
    War2=tf(kp_Ti(i),[1 0]);
    War=War1+War2;
    Wcap=Wop/(1+Wop*War);
    y=step(Wcap,t).*2.5;
    q=trapz(t,y.^2);
    S(i)=q;
    Jmin=min(S);
    if S(i)==Jmin;
        kp_Tiopt=kp_Ti(i);
        kpopt=kp(i);
    end, end
    kpopt, kp_Tiopt, Jmin
    figure(1);plot(kp, kp_Ti,kpopt,kp_Tiopt, '*');grid;
    xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
    figure(2);plot(kp,S,kpopt,Jmin, '*');grid;
```

xlabel('k<sub>p</sub>'); ylabel('J');

У результаті виконання програми отримуємо графік границі області заданого запасу стійкості та оптимальні параметри настроювання ПІ – регулятора, що знайдені за мінімумом другої інтегральної квадратичної оцінки. Границя області заданого запасу стійкості САР температури з ПІ – регулятором та оптимальними значеннями параметрів настроювання наведені на рис. 3.5.

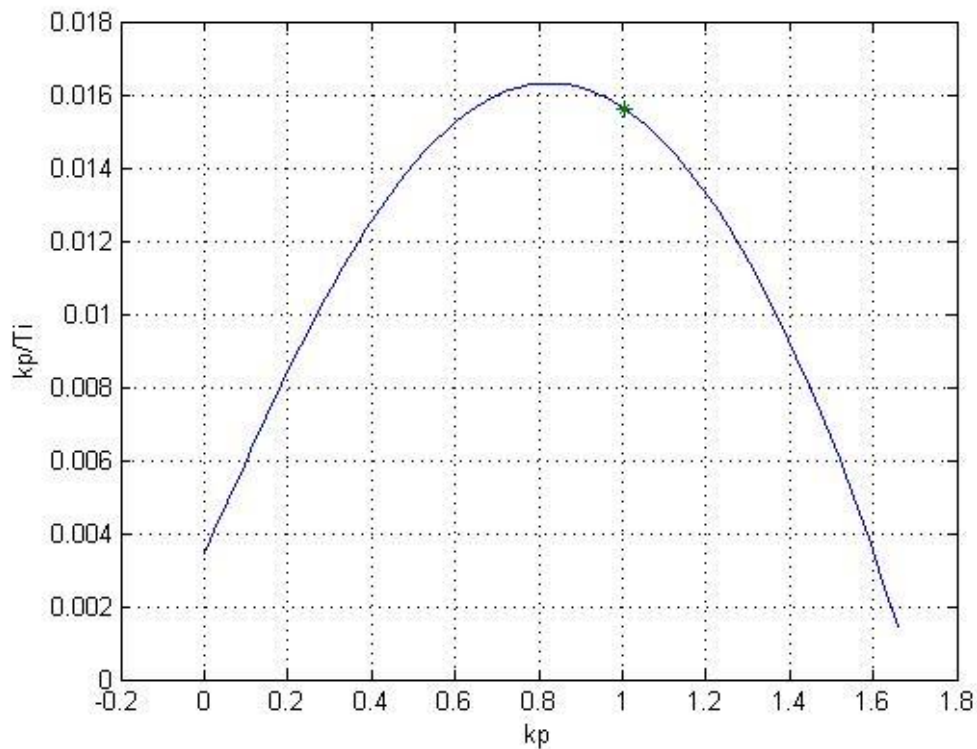


Рис. 3.5 Границя області заданого запасу стійкості САР температури з ПІ – регулятором та оптимальними значеннями параметрів настроювання

Залежність другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від коефіцієнта передачі регулятора показано на рис. 3.6. Із рис. 5.6. отримуємо значення оптимальних параметрів настроювання ПІ-регулятора та мінімум другої інтегральної оцінки:

- пропорційна складова  $k_p = 1.0068 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$

- інтегральна складова  $k_p/T_i = 0.0156 \frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$

- друга інтегральна оцінка  $J_{\min} = 144.7683$ .

Отже функція передачі автоматичного регулятора має такий вигляд:

$$W(p) = 1.0068 + \frac{0,0156}{p}.$$

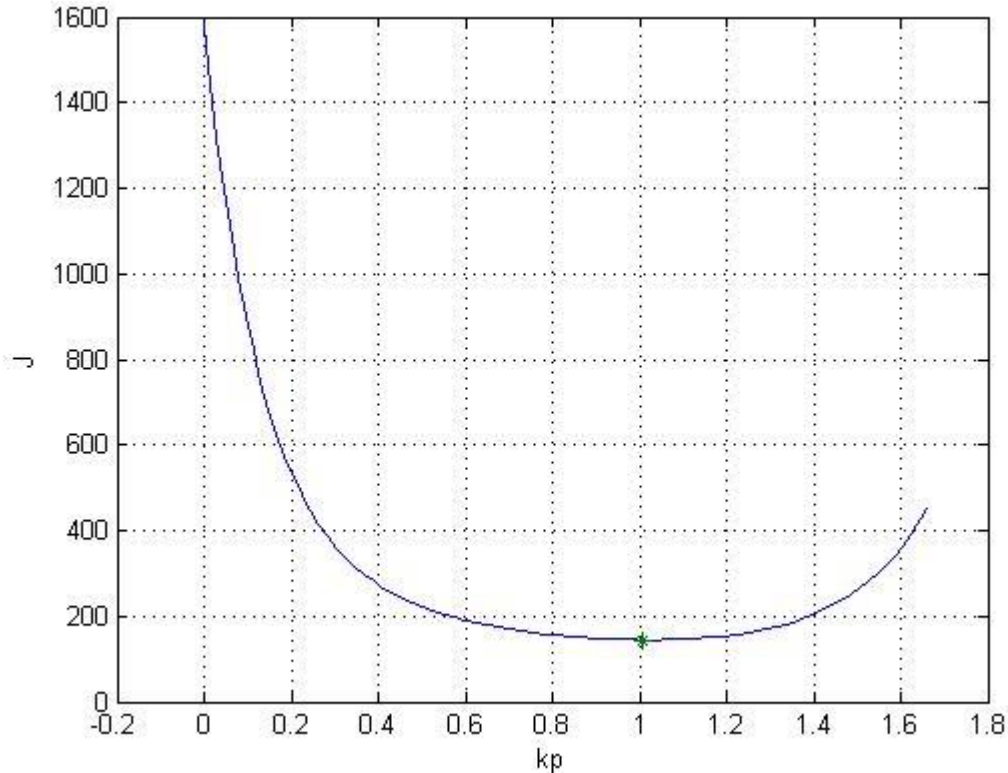


Рис. 3.6. Залежність другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від коефіцієнта передачі регулятора

### 3.4. Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах настроювання ПІ-регулятора

Моделювання автоматичної системи регулювання температури замісу здійснюється за допомогою ЕОМ, застосовуючи метод структурного моделювання. Моделювання САР проводиться з допомогою програмного пакету MATLAB. Синтез системи регулювання здійснюється шляхом використання типових структурних ланок.

Функція передачі за збуренням:

$$W(p) = \frac{0.9}{(15p + 1)^2}$$



Функція передачі за регулюючою дією:

$$W(p) = \frac{4.8}{(34.6680p + 1)^2}$$

Функція передачі ПІІ-регулятора:

$$W(p) = 1.0068 + \frac{0,0156}{p}$$

Змодельємо структурну схему процесу регулювання в середовищі Simulink при знайдених оптимальних параметрах (рис. 3.7):

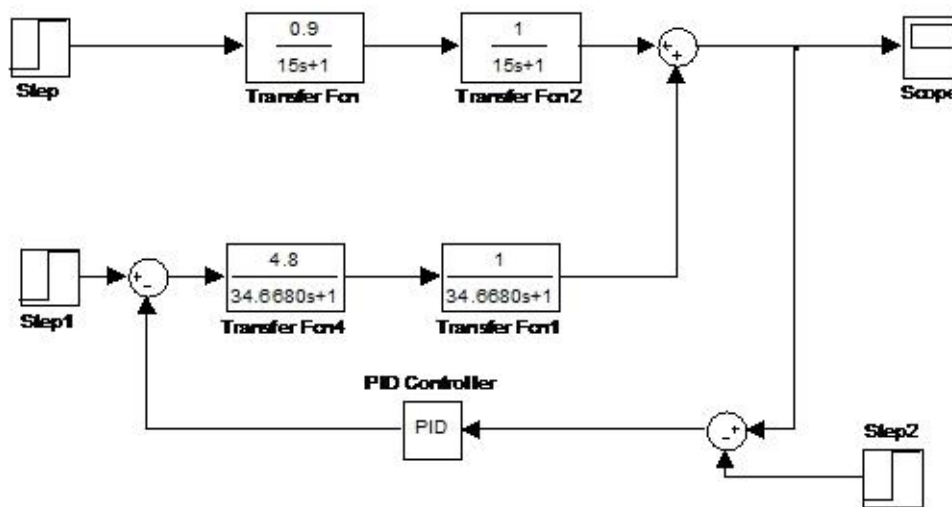


Рис.3.7 Структурна схема моделювання САР, реалізована в середовищі SIMULINK

Графік перехідного процесу САР із оптимальними параметрами настроювання ПІІ-регулятора при зміні регулюючої дії на 2.5 т/год показано на рис. 3.8.

За отриманим перехідним процесом робимо висновки, що при застосуванні ПІІ-регулятора для даної САР будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу.

*Показники якості перехідного процесу:*

- Максимальне динамічне відхилення:

$$A_1 = 2.25 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (згідно завдання } A_{\text{доп.}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C)};$$

- Час регулювання (при допустимій похибці регулювання  $\Delta = \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

становить  $t=88$  с при допустимому  $t_{\text{доп.}}=200$ с;

- Коефіцієнт зникання:  $\Psi=0$

Отже, вимоги до якості процесу регулювання задовільняються.

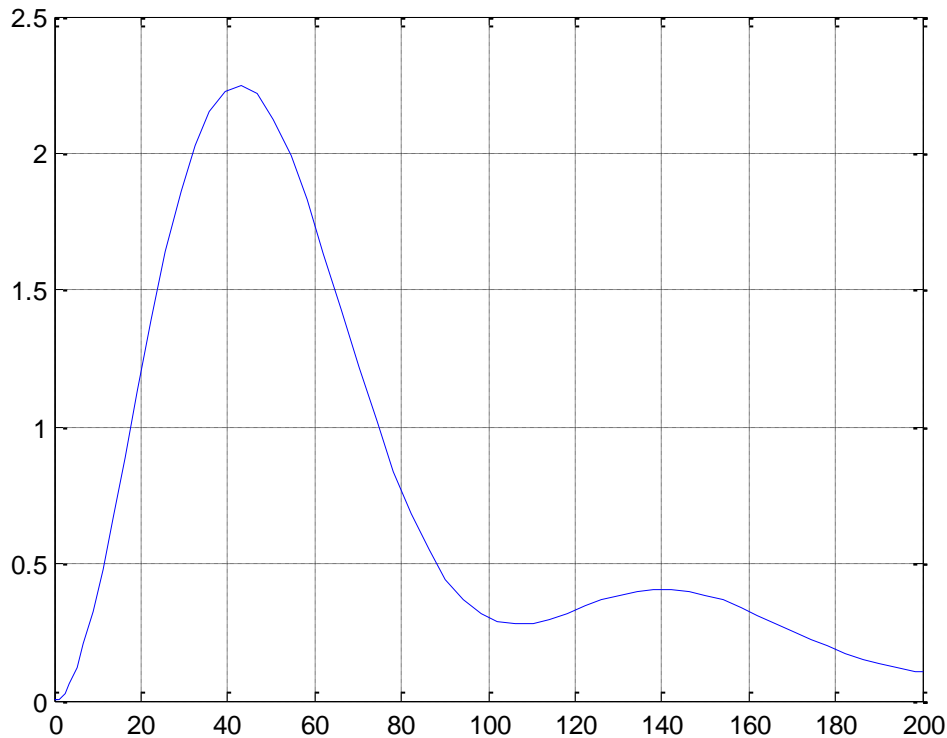


Рис.3.8. Графік перехідного процесу САР із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при зміні регулюючої дії на 2.5 т/год

Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні витрати замісу на 15% наведено на рис. 3.9.

Із рис. 3.9 о отриманому перехідному процесі видно, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу:

*Показники якості перехідного процесу:*

- Максимальне динамічне відхилення:

$$A_1=5.4 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (допустиме } A_{\text{доп.}}=15 \text{ } ^\circ\text{C);}$$

- Час регулювання при  $\Delta=\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$   $t=151$  с при ( $t_{\text{доп.}}=200$ с);

- Коефіцієнт зникання  $\Psi=87$

Отже, вимоги до якості процесу регулювання задовільняються.

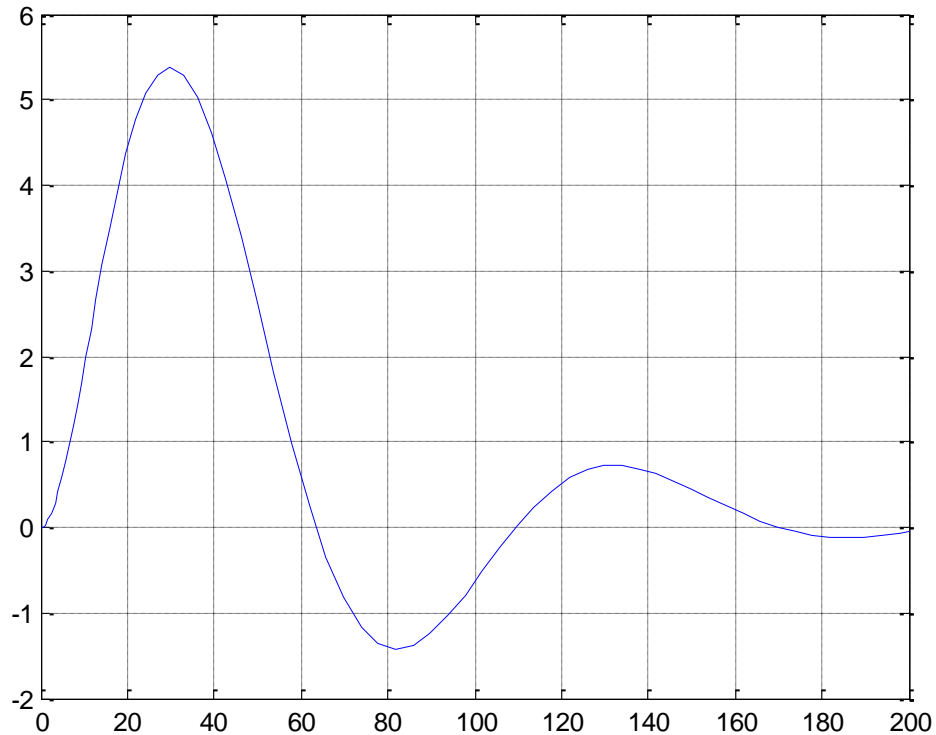


Рис.3.9 Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні витрати замісу на 15%

Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні завдання регулятора температури на 5°C наведено на рис. 3.10.

По отриманому перехідному процесі можна зробити висновки, що при застосуванні ПІ-регулятора для даної САР будуть виконуватися вимоги по якості перехідного процесу:

*Показники якості перехідного процесу:*

- Максимальне динамічне відхилення:

$$A_1 = 6.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (A_{\text{доп.}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C})$$

- Час регулювання (при  $\Delta = \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ):

$$t = 85 \text{ c} \quad (t_{\text{доп.}} = 200 \text{ c})$$

- Коефіцієнт зникання:  $\Psi = 0.66$

Отже, вимоги до якості процесу регулювання задовільняються.

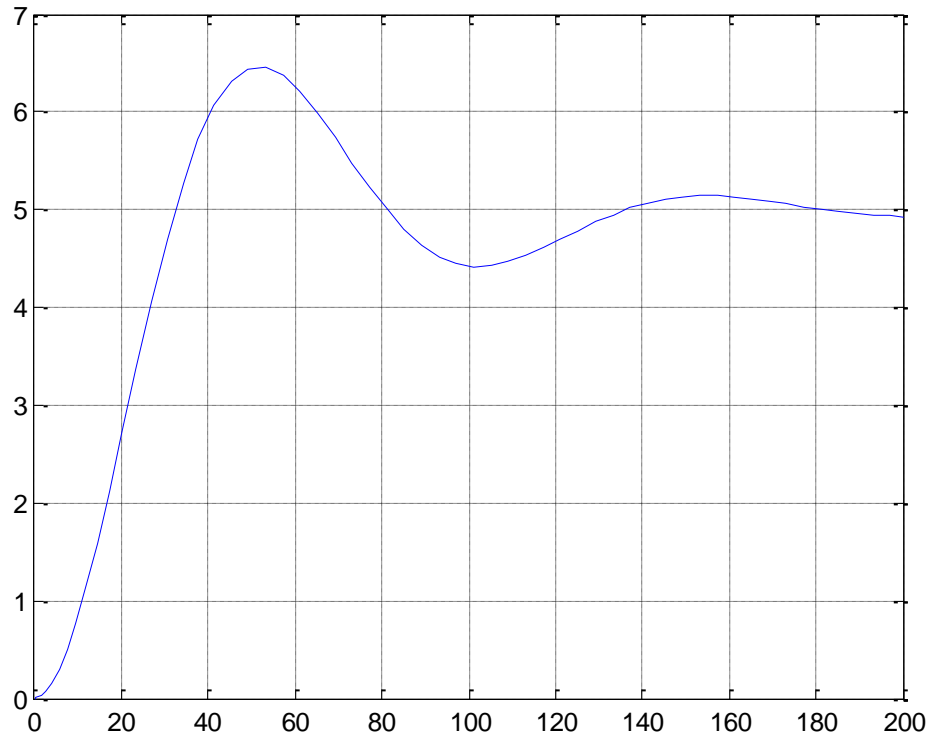


Рис.3.10 Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах  
 ПІ-регулятора при зміні даного значення температури на 5°C

Побудувавши та унормувавши експериментальну криву розгону, отриману при стрибкоподібній зміні витрати пари на 2.5 т/год, було визначено функцію передачі об'єкта регулювання та перевірено її на адекватність. Зведена похибка  $\delta=3.6083\%$  не перевищує 5%, отже знайдена модель адекватна заданій експериментальній кривій розгону.

Функція передачі за збуренням:

$$W(p) = \frac{0,9}{(15p + 1)^2}$$

Маючи математичну модель об'єкта регулювання у вигляді функції передачі, методом розширених фазочастотних характеристик розраховано оптимальні параметри настроювання ПІ - регулятора за другою інтегральною квадратичною оцінкою за зміною регулюючої дії.

Вибрано одноконтурну схему системи автоматичного регулювання і розраховано для неї параметри настроювання ПІ-регулятора.

Функція передачі ПІ-регулятора  $W(p) = 1.0068 + \frac{0,0156}{p}$

Дослідивши перехідний процес САР із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при зміні регулюючої дії на 2.5 т/год, при зміні витрати замісу на 15%. і при зміні заданого значення температури на 5°C видно, що ПІ-регулятор забезпечує якісний процес регулювання з такими критеріями якості:

- Максимальне динамічне відхилення  $A_1=6.5^\circ\text{C}$  ( $A_{1\text{доп}}=15^\circ\text{C}$ ).
- Час регулювання  $t_p=151\text{c}$  з заздалегідь встановленою похибкою  $\Delta=\pm 0,5^\circ\text{C}$  задовільняється ( $t_{p\text{доп}}=200\text{c}$ ).

### 3.5. Опис функціональної схеми автоматизації

На рис. 6.1 у спрощеному вигляді показана розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу приготування замісу у виробництві спирту етилового. Розширена ФСА зображена в додатку.

В даній ФСА реалізовано такий обсяг автоматизації:

1. Система автоматичного регулювання співвідношення витрат вода - помол зерна.
2. Система автоматичного регулювання температури замісу у чанку замісу.
3. Система автоматичного регулювання об'єму замісу в чанку замісу.
4. Система автоматичного регулювання витрати ферменту.
5. Система автоматичного регулювання рівня води в резервуарі.

- ***Контур регулювання співвідношення витрат вода – помол зерна***

Витрата води вимірюється магнітно – індуктивним витратоміром SitransFMAG 5100W. Витрата помолу зерна вимірюється мікрохвильовим витратоміром сипких матеріалів Solid Flow з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Вторинний вимірювальний перетворювач для Sitrans FMAG 5100W є Sitrans MAG 5000 з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Отримані сигнали надходять на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера М340, де здійснюється опрацювання даного

сигналу за заданою програмою. Керуючий сигнал з регулятора надходить на електропневматичний перетворювач Samson3767, що в свою чергу подає сигнал на пневматичний клапан Samson 3241-7 з пневмоприводом типу Samson 3277, встановлений в трубопроводі подачі води у дизмембратор.

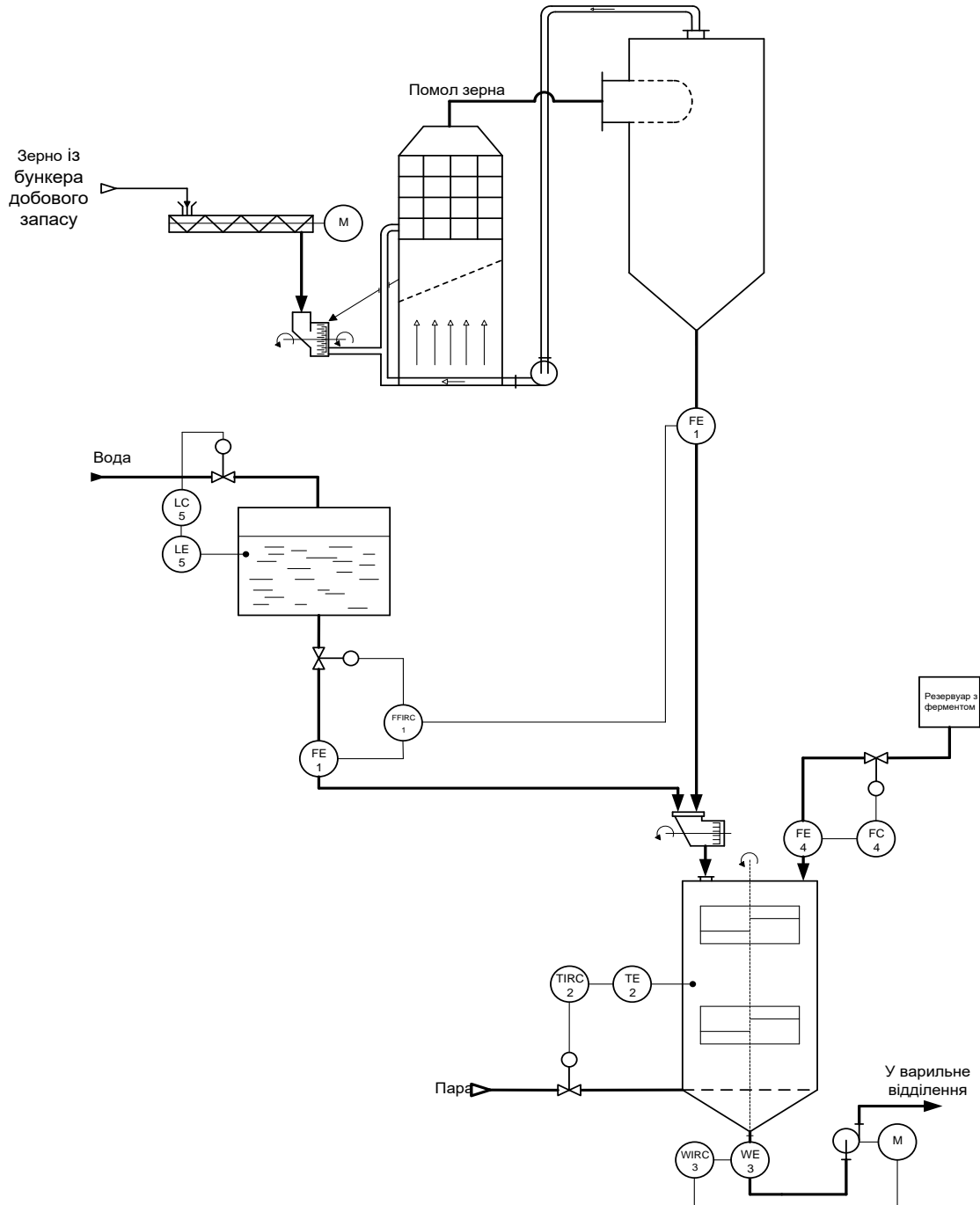


Рис. 3.11. Спрощена функціональна схема технологічного процесу приготування замісу у виробництві спирту етилового

- **Контур регулювання температури замісу у чанку замісу**

Вимірювання температури замісу у чанку замісу відбувається за допомогою термоперетворювача опору SitransTF3 уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Отриманий сигнал надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера М340, де здійснюється опрацювання сигналу за заданою програмою. Керуючий сигнал з регулятора надходить на електропневматичний перетворювач Samson3767, що в свою чергу подає сигнал на пневматичний клапан Samson 3241-7 з пневмоприводом типу Samson 3277, встановлений в трубопроводі подачі пари в чанок замісу.

- ***Контур регулювання об'єму замісу у чанку замісу***

Первинне вимірювання об'єму замісу відбувається методом зважування за допомогою чотирьох вагових кільцевих комірок на базі кільцевої пружини SiwarexR-RN. Вторинним вимірювальним перетворювачем є підсилювач для тензодатчиків RM4220 з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Отриманий сигнал надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера М340, де здійснюється опрацювання сигналу за заданою програмою. Керуючий сигнал з регулятора надходить на частотний перетворювач DanfossVLTMicroDriveFC51 який керує обертами двигуна насоса викачування замісу з чанку замісу.

- ***Контур регулювання витрати ферменту***

Витрата ферменту вимірюється магнітно – індуктивним витратоміром SitransFMAG 1100Food. Вторинний вимірювальний перетворювач для SitransFMAG1100Food є SitransMAG 5000 з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Отриманий сигнал надходить на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера М340, де здійснюється опрацювання сигналу за заданою програмою. Керуючий сигнал з регулятора надходить на електропневматичний перетворювач Samson3767, що в свою чергу подає сигнал на пневматичний клапан Samson3510-7 з пневмоприводом типу 3277-5. У випадку коли спрацьовує сигналізація по відсутності потоку помолу зерна, клапан який керує подачею ферменту закривається, тим самим перериває подачу ферменту у чанок замісу.

- ***Контур регулювання рівня води в резервуарі***

Вимірювання рівня води в резервуарі відбувається за допомогою безконтактного ультразвукового рівнеміра SitransLTheProbe з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4 – 20 мА. Отримані сигнали надходять на аналоговий вхід мікропроцесорного контролера М340, де здійснюється опрацювання даного сигналу за заданою програмою. Керуючий сигнал з регулятора надходить на електропневматичний перетворювач Samson3767, що в свою чергу подає сигнал на пневматичний клапан Samson 3241-7 з пневмоприводом типу Samson 3277, встановлений в трубопроводі подачі води в резервуар.

- ***Захист при відсутності потоку помолу зерна***

Для контролю потоку помолу зерна використовуємо давач-реле контролю потоку сипких матеріалів Flow Jam. У випадку, коли відсутній потік помолу зерна через залипання у циклоні, давач реле контролю потоку направить сигнал до контролера SchneiderElectricM340, від якого аналоговий вихідний сигнал подається до позиціонера типу 3767, який в свою чергу за допомогою регулюючого клапана 3510-7 з пневмоприводом типу 3277-5 відсіче подачу ферменту у чанок замісу та дискретний вихідний сигнал піде на магнітний пускач МП40-22, який в свою чергу відключить мотор приводу шнека подачі зерна.

Сигналізація верхнього і верхнього критичного рівня помолу зерна у циклоні відбувається за допомогою двох ротаційних датчиків-реле типу Sitrans LPS200.

Запуск двигунів шнека, спірального вентилятора, дизмембратора та двигуна мішалки здійснюється за допомогою магнітних пускачів МП40-22 на які надходить дискретний сигнал про «Пуск» та «Стоп» від контролера М340.

Запуск двигунів дробарки відбувається за допомогою магнітних пускачів ПММ 6/250 на які надходить дискретний сигнал про «Пуск» та «Стоп» від контролера М340.



### 3.6. Специфікація на засоби автоматизації

Таблиця 3.3

#### Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ позиції на ФСА	Технологічний параметр, його номінальне значення	Місце встановлення ЗА	Назва та коротка технічна характеристика ЗА	Тип	Кількість	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3-1	Витрата помолу зерна	На трубопроводі подачі помолу зерна	Мікрохвильовий витратомір сипких матеріалів. Діапазон вимірювання 0-20 т/г. Вихідний сигнал 4-20мА. Точності $\pm 2-5\%$ каліброваного діапазону.	Solid Flow	1	
2	3-2	Витрата води 0.5-16м <sup>3</sup> /год	На трубопроводі подачі води	Магнітно-індуктивний витратомір. D <sub>y</sub> =80мм. Межа допустимого робочого тиску 4 МПа	Sitrans F M MAG5100 W	1	
3	3-3		По місцю	Перетворювач сигналів електромагнітного витратоміра. Вихідний сигнал 4..20 мА. Похибка 0,5% від діапазону.	Sitrans MAG 5000		
4	3-4		По місцю	Електропневматичний позиціонер. Вихідний сигнал 0.2-1 бар, вхідний сигнал 4-20мА.	Samson 3767	1	
5	3-5		По місцю	Регулюючий клапан з пневмо-приводом типу Samson 3277. Умовний тиск P <sub>y</sub> =0.4МПа, умовний прохід D <sub>y</sub> =80мм.	Samson 3241-7	1	
6	4-2	Температура замісу у чанку замісу 60-65 <sup>0</sup> С	На чанку замісу	Термометр опору з давачем Pt100, діапазон вимірювання від -5 до 200 <sup>0</sup> С, вихідний сигнал 4-20мА.	SitransTF	1	

7	4-3		По місцю	Електропневматичний позиціонер. Вихідний сигнал 0.2-1 бар, вхідний сигнал 4-20мА	Samson 3767	1	
8	4-4		По місцю	Регулюючий клапан з пневмо-приводом типу Samson 3277. Умовний тиск $P_y=0.4$ МПа, умовний прохід $D_y=80$ мм.	Samson 3241-7	1	
9	7-1	Рівень води в резервуарі	На трубопроводі подачі води	Безконтактний ультразвуковий рівнемір. Діапазон вимірювання 0.25-5м. Вихідний сигнал 4-20мА. Похибка 0.25% від діапазону.	Sitrans L The Probe	1	
10	7-2		По місцю	Електропневматичний позиціонер. Вихідний сигнал 0.2-1 бар, вхідний сигнал 4-20мА.	Samson 3767	1	
11	7-3		По місцю	Регулюючий клапан з пневмо-приводом типу Samson 3277. Умовний тиск $P_y=0.4$ МПа, умовний прохід $D_y=80$ мм.	Samson 3241-7	1	
12	5-1 5-2	Вага замісу 3т	По місцю	Вагова кільцева комірка на базі кільцевої пружини. Діапазон вимірювання 0.5-5т.	SiwarexR-RN	4	
13	5-3		По місцю	Підсилювач для тензодавачів. Вихідний сигнал 4-20мА. Клас точності 0,1.	RM4220	1	
14	5-4		По місцю	Частотний перетворювач, потужність 1.5кВт, номінальний струм 6.8А, вихідна частота 1000Гц (VCC+-режим векторного управління).	Danfoss VLT Micro Drive FC51	1	
15	6-1	Витрата ферменту 5л/г	На трубопроводі	Магнітно-індуктивний витратомір.	Sitrans F M MAG 1100 Food	1	

			і подачі ферменту	$D_y=10\text{мм}$ . Межа допустимого робочого тиску 4МПа.			
16	6-2		По місцю	Перетворювач сигналів електромагнітного витратоміра. Вихідний сигнал 4..20 мА. Похибка 0,5% від діапа-зону.	Sitrans MAG 5000	1	
17	6-3		По місцю	Електропневматичний пози-ціонер. Вихідний сигнал 0.2-1 бар, вхідний сигнал 4-20мА.	Samson 3767	1	
18	6-4		По місцю	Регулюючий клапан з пневмо-приводом типу Samson 3277-5. Умовний тиск $P_y=0.4\text{МПа}$ , умовний прохід $D_y=10\text{мм}$ .	Samson 3510-7	1	
19	8-1	Давач-реле на трубопроводі подачі помолу зерна	По місцю	Давач-реле потоку. Вихідний сигнал 42В. Захист IP65. Час відклику 1...15 с.	FlowJam	1	
20	9-1 10-1		По місцю	Магнітний пускач. Номі-нальна потужність при 220В – 75кВаА Кількість спрацювань 1200 за год.	ПММ 6/250	2	
21	8-2 11-1 12-1 13-1		По місцю	Магнітний пускач. Номі-нальна потужність при 220В – 11кВаА. Механічна зносостійкість – 100000 циклів	МП40-22EVO	4	
22	1-1 2-1	Сигналізатор рівня помолу зерна в циклоні верхнього і верхнього критичного	В циклоні	Сигналізатор рівня з поворот-ною лопастью. Рівень захисту IP 65. Вихідний сигнал 30 В	Pointek ULS 200	1	
23			На щиті	Процесорний модуль мікро-процесорного контролера SchneiderM340	BMX P34 2020	1	

24			На щиті	Блок живлення контролера SchneiderM340	CPS 2000	1	
25			На щиті	Модуль аналогових входів. Кількість каналів 8, час опитування модуля 9 мс, діапазон сигналу 0-20мА, 4-20мА	BMX AMI0800	1	
26			На щиті	Модуль аналогових виходів. Кількість каналів 8, час опитування модуля 5 мс, діапазон сигналу 0-20мА, 4-20мА	BMX AMO 0802	1	
27			На щиті	Модуль дискретних входів. Кількість вхідних каналів 16. Вхідний сигнал 48 VАС.	BMX DAI1603	1	
28			На щиті	Модуль дискретних виходів. Кількість вихідних сигналів 16. Вихідний сигнал 24VDC , захищені, позитивна логіка, 0.5А	BMX DDO 1602	1	

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Питання охорони праці на харчових підприємствах стоїть особливо гостро. Найбільш важливу роль в безпечному веденні процесу відіграє система автоматизації, яка дає змогу створити різноманітні системи захисту, сигналізації та блокування.

Для її надійного функціонування необхідно правильно визначити:

- параметри процесу, за якими потрібно проводити захист, блокування і сигналізацію;
- фактори, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій;
- небезпеки, які можуть призвести до виникнення аварії або бути її наслідком;

Створенням, налагодженням і монтажем систем автоматизації на підприємстві займається відділ КВП і А, який складається з двох підрозділів: операторів і слюсарів-ремонтників.

При проведенні технологічного процесу, а також роботі в операторному приміщенні можна виділити наступні можливі види небезпек:

1) для слюсарів-ремонтників КВП і А:

- пожежо- та вибухонебезпека (при аваріях в пічних агрегатах, трубопроводах подачі газу);
- можливість отримання опіків;
- негативний вплив підвищення рівнів шуму та вібрацій (при роботі різних видів конвеєрів);
- отруєння шкідливими речовинами;
- ураження електричним струмом;
- небезпеки, пов'язані з можливістю травмування робітників відкритими та рухомими частинами обладнання;
- небезпеки, пов'язані з роботою на висоті;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними метеорологічними умовами.

2) для операторів КВП і А:

- зорове перенапруження;
- небезпеки, пов'язані з низькою рухливістю;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними ергономічними і метеорологічними умовами;
- пожежо- та вибухонебезпечні умови.

Для зменшення ризиків виникнення нещасних випадків в дипломному проекті необхідно передбачити заходи з охорони праці.

#### **4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці**

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкоджувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджувальні засоби.

Нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень є ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Оптимальними вважаються такі умови праці, при яких буде найвища працездатність і хороше самопочуття.

Приміщення повинні бути достатньо освітлені, вдень – як найбільше природним світлом, а в нічний та в вечірній часи електричним освітленням. Освітленість повинна відповідати нормативним значенням за ДБН В 2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустановок; застосуванням технічних засобів і засобів захисту; організаційними та технічними заходами згідно до ГОСТ 12.1.009-76.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки».

Рівень вібрації на виробництві повинен відповідати ГОСТ 12.1.012-91.

Пожежобезпека повинна відповідати стандарту ГОСТ 12.1.004-91. У комплексі заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що використовується у системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найраціональніших способів та засобів припинення горіння згідно зі ДБН В 2.5-13-98 «Пожежна автоматика будинків і споруд». Однією з умов успішного використання вогнегасників є виконання правил розміщення вогнегасників на об'єкті.

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

#### *Вентиляція та опалення*

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99 і ГОСТ 12.1.005-88.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктуючі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами.

Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів.

Системи опалення будинків і споруд підприємства необхідно вибирати з урахуванням вимог ДСП 173-96 і СНиП 2.04.05-91.

Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при важкій роботі.

#### *Вібрації та шум*

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України.



Вентилятори, повітрорудувки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звукоізолювальних камерах або у звукоізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

Технологічне устаткування, що має шумові характеристики, які перевищують гранично допустимі норми, необхідно оснащувати засобами зниження шуму або розміщувати у звукоізолювальних боксах, або ж ізолювати звукоізолювальними перегородками або екранами.

Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

#### *Освітлення*

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Улаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно провадити з дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інших чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам. У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної.

Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на східцях сходів не менше 3 лк (люксів).

Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.

Оскільки в технологічному процесі використовується природний газ, то можливе накопичення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, тому системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному виконанні.

Миття вікон повинне проводитись не рідше ніж 4 рази в рік.

#### *Ергономічні вимоги*

Ергономічні вимоги до робочих місць під час виконання робіт у сидячому положенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

На постійному робочому місці оператора за пультом або щитом повинні бути регульовані крісла з підлокітниками, з опорою для спини та з підставкою для ніг.

#### *Заходи безпеки*

У приміщеннях з підвищеним забрудненням пилом електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

На роботах, що пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом, повинні застосовуватися засоби захисту відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил експлуатації електрозахисних засобів, НПАОП 40.1-1.07-01.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання.

Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватися відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

Засоби зв'язку та сигналізації необхідно розташовувати в зонах максимальної видимості та чутності працівників, а також робити їх легкодоступними та безпечними під час обслуговування.

Устаткування перед пуском у роботу необхідно перевіряти на його безпечність під час роботи на ньому, наявності та цілісності огорож, надійності дії пускових і гальмівних пристроїв, заземлення, справності запобіжних кожухів, справності ізоляції, сигналізації пуску та зупинки, автоблокування.

У разі виявлення несправностей або недоліків у забезпеченні безпечної експлуатації устаткування робота на ньому повинна бути негайно припинена.

Органи аварійного виключення (кнопки, важелі) повинні бути червоного кольору, мати покажчики їхнього розташування, написи про призначення. Символи органів керування повинні відповідати вимогам державних стандартів «Органи керування виробничим устаткуванням. Позначення» та «Органи керування виробничим устаткуванням. Загальні вимоги безпеки».

*Загальні вимоги до технологічного обладнання*

Відстань між габаритами обладнання повинно бути не менше 3 м, а між стіною та обладнанням - не менше ніж 1,2 м.

Перед пуском обладнання необхідно переконатися в надійності та справності огорож, надійності кріплення футерувальних плит і кришок люків бункера для борошна, готовності до роботи дозаторів води і дріжджового розчину,

Для проведення ремонтних робіт, підйому кришок люків в приміщенні цеху мають бути встановлені вантажопідйомні машини.

### **4.3. Пожежна безпека**

На основі проведеного аналізу на підприємстві розробляється система заходів щодо попередження пожежі та протипожежного захисту технологічних процесів згідно з вимогами нормативних документів.

Технічні рішення системи запобігання пожежі.

Проектом передбачене наступне:

- всі елементи, які можуть у процесі роботи іскритися, встановлюються у вогнетривких шафах. Застосовуються іскрогасящі діоди;
- кабелі прокладаються на відстані 1 м від нагрітих поверхонь або захищаються екранами з неспалених матеріалів. Всі елементи кабельного господарства прокладаються в коробах, захисних трубах;
- при аварійних ситуаціях передбачене використання аварійного захисту, що відключає встаткування;
- для захисту від короткого замикання застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі;
- для запобігання згоряння всі деталі й елементи виготовляються з неспалених і важко спалених матеріалів (в основному металеві конструкції).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Для виявлення початкової стадії пожежі, повідомлення про місце його виникнення й включення установок пожежогасіння відповідно до проекту застосовують наступні установки пожежної сигналізації на базі автоматичних пожежних оповіщувачів.

Установка електричної пожежної сигналізації відповідно складається з оповіщувачів - датчиків (у даному проекті - датчик комбінованого типу КМ-1, що реагує на дим і підвищення температури), встановлених у приміщеннях, що захищають, ліній зв'язку й прийомної станції СДПУ-1 з живленням від мережі змінного струму 220В встановлюваний у приміщенні щитової. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів буде вироблятися оповіщення обслуговуючого персоналу й пожежної команди.

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння - вогнегасником 2БР2МА (вуглекислотний). При пожежі в електроустановках, які перебувають під напругою.

Для гасіння пожеж використовується вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

## **5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

### **5.1. Техніко-економічне обґрунтування запроєктованого варіанту системи автоматизації технологічного процесу приготування замісу у чані замісу при виробництві спирту етилового**

Необхідно провести такі техніко-економічних заходів:

- підвищення якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості і витрат на виробництво;
- введення нових прогресивних технологій, які б дозволяли знизити витрати матеріальних, сировинних та енергетичних ресурсів, підвищити продуктивність обладнання і технологічних ліній. Більш повно використовувати потужність підприємства, а як наслідок – підвищити обсяг виходу готової продукції;
- розширення асортименту виробів для покращення їх конкурентоспроможності; дана вимога особливо актуальна в умовах сьогоденного ринку збуту, коли на ньому з'явилося багато мініпекарень з широким нетрадиційним асортиментом виробів;
- покращення системи обліку та стандартизації готової продукції, сировини, напівфабрикатів, енергії, тощо;
- покращення системи взаєморозрахунків, що дозволило б прискорити обіг оборотних коштів;
- покращення умов роботи працівників;
- проведення заходів з автоматизації і механізації виробництва, що дозволить досягнути неперервності процесів виробництва, зменшити частку ручної праці, зменшити кількість браку;
- проведення робіт за напрямками науково-технічного розвитку і технічного переобладнання підприємства;
- проведення систематичного нагляду, поточного і капітального ремонтів обладнання.

Проведення великої кількості операцій із застосуванням ручної праці зумовлює зниження якості продукції і наявність браку. Тому поряд із заміною обладнання доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації, яка була побудована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорогими, але завдяки їх багатofункціональному призначенню є можливість виключити проміжні прилади та здійснювати різні додаткові операції.

Запроектвану систему можна віднести до взаємопов'язаної автоматизації закінчених технологічних процесів без перегляду технології.

Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

### Вихідні дані для порівняння варіантів

Показники	Умовне познач.	Одиниця вимірюв.	Варіант	
			базовий	запроектов.
Річна програма випуску продукції	Q	т	5380,6	5649,6
Термін використання КВП і А	T <sub>вик</sub>	років	5	5
Кількість відмов КВП і А	N <sub>над</sub>	%	3	0,5
Похибка КВП і А	P <sub>пох</sub>	%	2,5	0,5
Чисельність робітників основних	Ч <sub>осн</sub>	людей	48	24
допоміжних	Ч <sub>доп</sub>	людей	28	34
Вартість системи автомазації	K <sub>0</sub>	грн	94193,58	139161,87
Собівартість продукції	C	грн/т	469,54	465,48
Сума приведених затрат	K <sub>пр</sub>	грн/т	474,49	470,18

## 5.2. Економічна ефективність автоматизації виробничих процесів

Введення нової системи автоматизації з використанням сучасної мікропроцесорної техніки дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок наступних факторів:

- зменшення витрат сировини і матеріалів – введення в процес відповідних регуляторів дозволить більш точно проводити дозування сировини, а як наслідок буде підвищуватися якість продукції і її вихід;
- зменшення браку відходів;
- зменшення витрат палива – введення регулятора співвідношення витрат „паливо-повітря” з корекцією за концентрацією кисню в димових газах дозволить оптимізувати витрату палива;
- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці і досягнення більшої неперервності процесу;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

До недоліків нової системи автоматизації можна віднести залучення персоналу вищої кваліфікації, більшої кількості допоміжних робітників, а також незначне підвищення енергоємності.

### 5.2.1. Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію

Одноразові капітальні витрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів та засобів автоматизації, монтажних, будівельних і налагоджувальних робіт, втрати від ліквідації звільненої техніки.

Згідно заводських даних вартість виробів, апаратів, засобів автоматизації і приладів складає 109741,63 грн. транспортно-заготівельні витрати враховуються в розмірі 8 % від купівельної ціни засобів автоматизації і складають 8779,33 грн.

Витрати на монтаж системи автоматизації визначаються вартістю матеріалів, які витрачаються при проведенні монтажних робіт і витратами, пов'язаними з заробітною платою робітників. Згідно заводських даних витрати на монтаж системи автоматизації складають 2154,5 грн.

Вартість налагодження апаратури згідно даних підприємства складає 10 % купівельної вартості засобів автоматизації і становить 10974,16 грн.



Вартість будівельних робіт  $C_6$ , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$C_6 = V \cdot C_v \left(1 + \frac{C}{100}\right), \text{ де}$$

$V$  – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом  $V=25 \text{ м}^3$ ;  $C_v$  – ціна за  $1 \text{ м}^3$  об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства  $C_v = 195 \text{ грн}$ ;  $C$  – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна:  $C_6 = 25 \times 195(1+0,1) = 5362,5 \text{ грн}$ .

Витрати на санітарно-технічні роботи згідно даних підприємства становить 20 % вартості будівельних робіт і складають 1072,5 грн.

Витрати на демонтаж існуючої системи автоматизації згідно даних заводу є рівними 50 % вартості монтажних робіт і чисельно складають 1077,25 грн.

Загальні капітальні витрати на впровадження запроєктованої системи автоматизації технологічного процесу випікання хлібопродуктів складуть:

$$\begin{aligned} C &= 109741,63 + 8779,33 + 2154,5 + 10974,16 + 5362,5 + 1072,5 + 1077,25 = \\ &= 139161,87 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації  $V_{\text{аморт}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4 \text{ грн в рік}$ .

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:

$$V_{\text{пл,рем}} = 6500 \text{ грн}$$

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію котлоагрегатів становлять :

$$B = 27435,4 + 6500 = 33935,4 \text{ грн.}$$

### 5.3. Розрахунок виробничої потужності після автоматизації

Одним з показників за рахунок збільшення якого може бути оптимальний прибуток, є виробнича потужність.

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:

$$V = N \cdot n_T \cdot (T - T_0), \text{ де}$$

$N$  – кількість однорідних апаратів;  $n_r$  – продуктивність одиниці обладнання за годину;  $T_0$  – регламентовані зупинки одного апарата, годин;  $T$  – календарний час, годин.

Проведемо розрахунок виробничої потужності з використанням даних заводу і паспортних даних обладнання. Порівняно з базовим варіантом виробнича потужність зростає на 5 % за рахунок таких факторів:

- досягнення неперервності технологічного процесу;
- виключення використання ручної праці;
- зменшення часу регламентованих зупинок на ремонт за рахунок блочного принципу виконання приладів;
- підвищення продуктивності обладнання за рахунок перших двох факторів, а також за рахунок повного використання сировини і матеріалів;
- підвищення коефіцієнта виходу готової продукції;
- зменшення тривалості технологічного циклу;
- зменшення витратних коефіцієнтів сировини.

#### 5.4. Розрахунок собівартості річного випуску продукції

Для проведення розрахунків собівартість запроєктованого і базового варіантів повинна визначатися за єдиною методикою при однакових цінах на сировину, матеріали, електроенергію, рівних обсягах виробництва. Тому з врахуванням різниці в річному випуску продукції розраховують додаткові капітальні вкладення з допомогою показника питомих капітальних вкладень за формулою:

$$K_d = \left( \frac{K_2}{Q_2} - \frac{K_1}{Q_1} \right) \cdot Q_2, \text{ де}$$

$K_1, K_2$  – капітальні вкладення відповідно в базовий і запроєктований варіанти;  $Q_1, Q_2$  – річний випуск продукції відповідно в базовому і запроєктованому варіанті.

$$K_d = \left( \frac{13916187}{5649,6} - \frac{94193,58}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

Економію за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів розрахуємо за даними підприємства за формулою:

$$E_m = (V_1 C_1 - V_2 C_2) Q_2, \text{ де}$$

$V_1, V_2$  – обсяг сировини, матеріалів, які витрачаються на виробництво одиниці продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_1, C_2$  – відповідно ціна одиниці сировини, матеріалів.

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:

$$E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2, \text{ де}$$

$m_1, m_2$  – витрати електроенергії на одиницю продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації;  $C_2$  – ціна одиниці енергії.

Тоді за даними підприємства

$$E_e = (0,018 - 0,0229) \times 5649,6 = -129,19 \text{ грн.}$$

Тобто, додаткові витрати на електроенергію складуть 129,19 грн. Необхідно зауважити, що витрати електроенергії зростають не за рахунок збільшення енергоємності обладнання, а із-за суттєвого розширення його бази.

Економію по заробітній платі робітників визначають у відповідності зі зміною чисельності основних і допоміжних робітників і їх середньорічної заробітної плати.

Визначимо явочну чисельність чергових слюсарів після введення нової системи автоматизації за формулою:

$$Ч_{\text{ячсл}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i \cdot K_3}{\Phi_{\text{ч}}}, \text{ де}$$

$N_i$  – кількість приладів даного типу, що підлягають обслуговуванню;  $t_i$  – норма часу на обслуговування одного приладу (приймається згідно даних підприємства);  $\Phi_{\text{ч}}$  – тривалість робочої зміни (480 хвилин);  $K_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує виконання незапланованих робіт ( $K_3 = -1,1$ ).

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

$$Ч_{\text{ячсл}} = \frac{(15 \times 15 + 23 \times 10 + 20 \times 1 + 120 \times 5) \cdot 1,1}{480} = 2,46 \text{ чоловік}$$

Приймаємо явочну чисельність чергових слюсарів рівною 3. Тоді явочна чисельність чергових слюсарів за добу є рівною 9. Спискова чисельність чергових слюсарів є рівною 12.

За заводським розрахунком явочна чисельність слюсарів КВП і А є рівною 15 чоловік на добу. Спискова чисельність складає 24 робітники.

Для проведення розрахунку річного фонду заробітної плати складемо баланс робочого часу одного середньоспискового робітника:

Календарний фонд часу – 365 днів.

Вихідні дні – 91.

Номинальний фонд робочого часу – 274 дні.

Всього невиходи на роботу – 27 днів.

Ефективний час роботи – 247 днів.

Середня тривалість роботи одного робітника – 1927 годин.

Коефіцієнт перерахунку –  $365/247 = 1.47$ .

Згідно даних підприємства, на заводі застосовується чотирибригадний графік з тривалістю зміни 7,8 години.

### **5.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників**

Річний фонд заробітної плати визначають за штатним розписом і посадовими окладами. За даними підприємства річний фонд заробітної плати служби КВП і А складає: до введення автоматизації – 385458,69 грн, після введення автоматизації - 297483,15 грн.

Розрахуємо економію по заробітній платі за формулою:

$$E_3 = \frac{\Phi_{\text{пл}}}{Q_1} \cdot Q_2 - \Phi_{\text{пл}2}, \text{ де}$$

$\Phi_{п1}$ ,  $\Phi_{п2}$  – річний фонд заробітної плати відповідно до і після введення автоматизації;  $Q_1$ ,  $Q_2$  – річний випуск продукції в натуральних одиницях відповідно до і після введення автоматизації.

Тоді

$$E_3 = \frac{38545869}{5380,6} 5649,6 - 29748315 = 10724625 \text{ грн.}$$

### 5.6. Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{заг}} - E_n * K ;$$

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_i - B ;$$

де  $\varepsilon_{\text{заг}}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел;

$\varepsilon_i$  - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, зарплати);

$E_n * K$  - капітальні затрати на автоматизацію (згідно кошторису) ;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт ( $E_n = 0.15$ );

$B$  - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Таким чином,  $\varepsilon_i = 210993,94$  грн.  $B = 33935,4$  грн.  $K = 139161,87$  грн.

$$\varepsilon_{\text{заг}} = 210993,94 - 33935,4 = 177058,54 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект :

$$\varepsilon_p = 177058,54 - 0.15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / \varepsilon_{\text{заг}} = 139161,87 / 177058,54 = 0,786 \text{ року} = 287 \text{ днів.}$$

Коефіцієнт ефективності  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{заг}} / K = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 0,786 = 1,27$ .

Річний економічний ефект від запровадження автоматизації даного технологічного процесу 156184,26 грн. Термін окупності – 0,786 року.

На основі проведених розрахунків можна стверджувати, що запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі досліджено технологічний процес приготування замісу у виробництві спирту етилового та ознайомлено з технологічним обладнанням. Сформульовано такі висновки:

1. Засвоївши принципи побудови та програмування систем автоматизації з використанням мікропроцесорних засобів, було розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації технологічного процесу приготування замісу та відповідні засоби автоматизації, розроблено програму функціонування мікропроцесорного контролера Schneider Electric M340. Застосування програмного регулювання з допомогою мікропроцесорної техніки дозволяє скоротити витрати людської праці та електроенергії, а також зменшити вплив людського фактору.

2. Побудувавши та унормувавши експериментальну криву розгону, отриману при стрибкоподібній зміні витрати пари на 2.5 т/год, було визначено функцію передачі об'єкта регулювання та перевірено її на адекватність. Зведена похибка  $\delta=3.6083\%$  не перевищує 5%, отже знайдена модель адекватна заданій експериментальній кривій розгону.

3. Маючи математичну модель об'єкта регулювання у вигляді функції передачі, методом розширених фазочастотних характеристик розраховано оптимальні параметри настроювання ПІ - регулятора за другою інтегральною квадратичною оцінкою за зміною регулюючої дії.

Вибрано одноконтурну схему системи автоматичного регулювання і розраховано для неї параметри настроювання ПІ-регулятора.

$$\text{Функція передачі ПІ-регулятора } W(p) = 1.0068 + \frac{0,0156}{p}$$

4. Дослідивши перехідний процес САР із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при зміні регулюючої дії на 2.5 т/год, при зміні витрати замісу на 15%. і при зміні заданого значення температури на 5°C видно, що ПІ-регулятор забезпечує якісний процес регулювання з такими критеріями якості:

- Максимальне динамічне відхилення  $A_1=6.5^\circ\text{C}$  ( $A_{1\text{доп}}=15^\circ\text{C}$ ).
- Час регулювання  $t_p=151\text{c}$  з заздалегідь встановленою похибкою  $\Delta=\pm 0,5^\circ\text{C}$  задовільняється ( $t_{p\text{доп}}=200\text{c}$ ).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк,М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
3. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регулювальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
4. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
5. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Когутяк, М. І. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / М. І. Когутяк. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ Факел, 2008. - 212 с. (Електронний ресурс, режим доступу: <http://194.44.112.13/chytalna/1367/index.html>)
8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб./ За ред. проф. І.Ф. Малежика. - К.: НУХТ, 2012.
- 10.Б.Б. Самотокін. Курс лекцій з теорії автоматичного керування. — Житомир: ЖІТІ, 1997.
- 11.Теорія автоматичного керування : Частина І : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ ”КПІ”, 2010. – 182 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/770>.
- 12.Теорія автоматичного керування : Частина ІІ : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ ”КПІ”, 2012. – 165 с. – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2209>.
- 13.Ткачов В.В., Стаднік М.І., Шевченко В.І., Козарь М.В., Карпеко О.В. Технічні засоби автоматизації: Навчальний посібник. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 142 с.
- 14.Control System Toolbox. User’s Guide, The MathWorks, Release 2009b, 2009
- 15.Phillips C., Harbor R. Feedback control systems, Prentice-Hall, 2000, 658 p.