

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Автоматизація технологічного процесу очищення стічних вод”**

Виконав: студент гр. Акт-41  
Спеціальності 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”  
(шифр і назва)

Салтиков Віталій Юрійович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Запорожцев С.Ю.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2023**

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

Салтиков Віталій Юрійович

1. Тема роботи: «Автоматизація технологічного процесу очищення стічних вод»

Керівник роботи Запорожцев Сергій Юрійович, 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 очищення  
втічних вод; 2. Функціональні ознаки технологічного процесу очищення  
стічних вод; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування

2. Розробка системи автоматичного 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. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами та факторами, що впливають на роботу відстійника. Схема регулювання витрати початкової суспензії з давачем мутності. Спрощена функціональна схема автоматизації (ФСА) процесу відстоювання. Перехідний процес у САР із ПІ-регулятором

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., 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 \_\_\_\_\_ Салтиков В.Ю.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
 (підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація технологічного процесу очищення стічних вод. Салтиков В.Ю. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2023.

89 с. текст. част., 26 рис., 9 табл., 15 літ. джерел, 2 додатки.

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

У вступі висвітлено суть процесу очищення стічних вод, обґрунтовано необхідність його автоматизації.

В першому розділі подано опис технологічного процесу, описано матеріальний та тепловий баланс процесу, наведені теоретичні основи технологічного процесу очищення стічних вод.

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 очищення стічних вод. Проведено опис технологічного процесу, виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. Розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації технологічного процесу очищення стічних вод та відповідні засоби автоматизації, розроблено програму функціонування мікропроцесорного контролера. Проведена розробка системи автоматизації відстійника в процесі біологічної очистки стічних вод, зокрема розглянуто існуючі схеми автоматизації та синтезована функціональна система автоматизації для заданих умов роботи. За математичною моделлю об'єкта регулювання у вигляді функції передачі розраховано оптимальні параметри настроювання ПІ-регулятора рівня границі зон осадження та ущільнення у відстійнику.

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 wastewater treatment is solved. The description of the technological process was carried out, the analysis of the technological process as an object of automation was performed. An optimal functional scheme for the automation of the technological process of wastewater treatment and the corresponding means of automation have been developed, and a program for the operation of the microprocessor controller has been developed. The development of the settling tank automation system in the process of biological wastewater treatment was carried out, in particular, the existing automation schemes were considered and a functional automation system was synthesized for the given operating conditions. According to the mathematical model of the control object in the form of a transfer function, the optimal parameters for setting the PI controller of the level of the boundary of the sedimentation and compaction zones in the sedimentation tank were 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>		11
1.1. Опис технологічного процесу очищення стічних вод		11
1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах		18
1.3. Матеріальний баланс процесу		28
1.4. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію		29
1.5. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень		30
1.6. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта		33
<b>2. Розробка системи автоматичного керування технологічним процесом</b>		34
2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта		34
2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу очищення стічних вод		35
2.3. Визначення функціональних ознак систем автоматизації		37
2.4. Аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу		37
2.5. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта		41
2.6. Вибір технічних засобів автоматизації		41
<b>3. Оптимальне керування технологічним процесом</b>		58
3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів		58
3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання		60
3.3. Визначення закону регулювання		61

3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора	62
3.5. Розрахунок і побудова перехідного процесу САР	68
3.6. Опис функціональної схеми автоматизації	69
3.7. Специфікація на засоби автоматизації	71
<b>4. Охорона праці</b>	<b>75</b>
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці	75
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	76
4.3. Пожежна безпека	83
<b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації</b>	<b>85</b>
<b>Висновки</b>	<b>94</b>
<b>Список використаних джерел</b>	<b>98</b>
<b>Додатки</b>	<b>99</b>

## Вступ

*Актуальність теми.* Питання повного очищення стічних вод і мінімізації їх шкідливого впливу на навколишнє середовище пов'язані з питанням збільшення агропромислового виробництва. Одним із ключових елементів покращення якості навколишнього середовища та охорони водойм від забруднення шкідливими речовинами природного та штучного походження є підвищення ефективності роботи очисних споруд на підприємствах агропромислового комплексу.

Системи очищення води часто використовують процес відстоювання. Однак, оскільки процес відстоювання є найбільш простою та доступною гідродинамічною процедурою, його часто використовують для первинного розділення, що зменшує вартість остаточного розділення гетерогенної суміші завдяки використанню більш складних методів.

Відстоювання проводять в апаратах, що називаються *відстійниками*. Відстійники для згущування суспензій називають *згущувачами*, а для класифікації твердих частинок на фракції – *класифікаторами*.

Очистка стічної води в агропромисловому виробництві набуває особливого значення, адже такі підприємства є одними із основних споживачів води (до 25 % загального водоспоживання) і джерелами забруднення води. Найбільш розповсюдженими видами очистки стічної води є хімічна (реагентна) та біохімічна очистка.

Споруди біологічної очистки широко використовуються для знешкодження стічних вод. В біологічні очисні споруди поступають, як правило, стічні води непростого складу, а також стічні води з найближчих населених пунктів. Для стабілізації процесу очищення на оптимальному рівні вагоме значення мають локальні очисні споруди, що дозволяють покращити умови роботи біологічних очисних споруд. Інтенсифікація біохімічних процесів очистки стічних вод на агропромислових підприємствах дозволяє в значній мірі підвищити техніко-економічні показники роботи споруд біологічної очистки.



Метод біологічної очистки базується на здатності гетеротрофних мікроорганізмів використовувати в якості джерела живлення різноманітні неорганічні і органічні сполуки, здійснюючи над останніми біохімічні перетворення. Розвиток хімічної науки і виробництва, синтез складних органічних сполук неприродного походження, що не мають аналогів в природі, поставили в ряд першочергових наукових і практичних задач в області очистки стічних вод розробку методів повної очистки стічних вод з попередженням їх потрапляння у водойми.

Широке застосування одержав біологічний метод із використанням метаболізму бактерій активного мулу, тобто використання ферментів, які є необхідними для метаболізму в даних умовах, в присутності специфічної органічної сполуки чи комплексу органічних сполук. Тому враховується не лише здатність мікробів до синтезу ферментів, але й можливість зміни їх активності.

Саме використання властивостей адаптації бактерій активного мулу дозволяє успішно вирішити проблеми біологічної очистки стічних вод агропромислового виробництва. Цим обумовлене широке впровадження методів біологічної очистки в різні галузі агропромислового виробництва.

Біохімічне перетворення забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу обумовлене процесами обміну речовин бактерій, їх способом живлення і дихання. Біоценоз активного мулу формується переважно гетеротрофними мікроорганізмами, особливістю яких є здатність засвоювати вуглець із готових органічних сполук найрізноманітнішої хімічної структури. Властивості органічних речовин мають важливе значення при їх використанні гетеротрофними мікроорганізмами в якості джерел вуглецю.

Вдосконалення апаратурного оформлення цих процесів, забезпечення сприятливих фізіологічних умов для життєдіяльності активного мулу та ряд інших заходів дозволили значно інтенсифікувати процеси біохімічного окислення і покращити санітарно-хімічні показники очищених стічних вод, що зливаються у водойми.

**Мета роботи** - розроблення нової системи керування технологічним процесом очищення стічних вод.

**Предмет дослідження** - автоматизація процесу очищення стічних вод.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес очищення стічних вод.

## 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 1.1. Опис технологічного процесу

Біологічне очищення стічних вод широко використовує здатність мікроорганізмів до адаптації. Мікроорганізми здатні розщеплювати комплексні органічні речовини до найпростіших складових, які згодом знову можуть асимілюватися рослинами і тваринами.

Біохімічні процеси окислення органічних забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу аналогічні до процесів окислення цих речовин в природі.

#### *Склад і властивості активного мулу*

Активний мул являє собою екосистему, до складу якої входить складний комплекс мікроорганізмів різних класів, найпростіших мікроскопічних черв'яків, водоростей; кількісне і якісне формування екосистеми спричинене штучними умовами існування. Мікрофлора активних мулів, що очищують багатокomпонентні стічні води, є різною і залежить від складу очищуваних стічних вод, технологічного режиму роботи аеротенків та умов експлуатації всього комплексу очисних споруд.

Кількісні закономірності формування екосистеми активного мулу продиктовані, в основному, технологічним режимом роботи аеротенків. Як правило, загальна кількість мікроорганізмів в спорудах прямопропорційна їх окислювальній потужності. Якісні зміни (формування фізіологічних груп бактерій, зміна типу вуглеводного обміну), які переносять мікроорганізми, що населяють активний мул, інтегрально залежать від хімічного складу очищуваних стічних вод, кількості органічних забруднень в них і технологічного режиму їх очистки, а також від загальних умов функціонування споруд біологічної чистки в системі хімічного підприємства.

Фундаментальна перебудова вуглеводного типу обміну в мікроорганізмів активного мулу характерна для адаптованих мулів, що експлуатуються в режимі оптимальних навантажень в одно- та двоступінчатих системах очистки, в умовах сталості хімічного складу очищуваних стічних вод, стабільних

параметрів технологічного режиму роботи аеротенків і всього комплексу очисних споруд в цілому.

Таким чином, кількісний та якісний склад мікрофлори активного мулу, що очищає стічні води агропромислового виробництва, а також біохімічні властивості бактерій, що визначають величину питомої швидкості окислення активного мулу, залежать від умов його перебування, являються регульованими параметрами і формуються в залежності від регулюючих параметрів: хімічного складу очищуваних стічних вод, незмінності концентрацій основних специфічних забруднюючих речовин і оптимального технологічного режиму.

Вік активного мулу визначається як відношення маси активного мулу (по сухій масі), що знаходиться в аеротенку, до маси активного мулу, що видаляється із системи протягом доби.

До фізичних властивостей активного мулу, що характеризують його якість, відноситься здатність мулу до осідання (муловий індекс), який являє собою відношення об'єму активного мулу в міліметрах після 30-хвилинного відстоювання до 1 г сухої речовини активного мулу при розбавленні мулової суміші до 1 г/л. Індекс залежить від навантаження на мул. Оптимальним є індекс не більше 100. Різкі коливання мулового індексу, особливо його збільшення до 150-200, свідчать про несприятливі та нестабільні умови роботи аеротенку.

Якість активного мулу характеризують також його морфологічні властивості. Сприятливі, стабільні умови існування активного мулу зумовлюють добру його осаджуваність, прозору надмулову рідину, пластичну структуру мулового осаду.

Показником якості всієї екосистеми активного мулу є інерційність екосистеми, яка проявляється в здатності нівелювати одиночні збурюючі негативні дії, котрі доволі часто зустрічаються в практиці експлуатації біохімічних очисних споруд. До таких дій належать різного роду порушення технологічного режиму (залпові викиди забруднюючих речовин в токсичних концентраціях), різкі зміни рН середовища, зниження рівня розчиненого кисню.

### *Технологічна схема біологічної очистки*

Стічні води містять складний комплекс різних сполук органічного і неорганічного походження, що розрізняються складом, властивостями і фазово-дисперсним станом, що в сукупності об'єктивно обумовлює необхідність розробки оптимальних умов проведення технологічного процесу очистки. Тому вибір схеми біологічного очищення стічних вод є достатньо складним інженерним завданням, при вирішенні якої повинні бути чітко визначені: загальний об'єм стічних вод, що очищаються, всі види речовин, що забруднюють їх, і їх біохімічні характеристики, перелік переважаючих по концентраціях забруднюючих речовин з урахуванням їх токсикологічних властивостей. Повинні бути чітко визначені цілі технологічного процесу очищення.

Традиційно, завдання біохімічного очищення стічних вод формулюється як забезпечення необхідних значень санітарно-хімічних показників очищеної стічної рідини з урахуванням її розбавлення під час поступання до водоймища. При формуванні технологічної стратегії в області очищення стічних вод підприємств аграрної промисловості повинні вирішуватися наступні задачі:

- максимальне вилучення забруднюючих речовин з очищуваних стічних вод;
- забезпечення технологічного режиму очищення стічних вод, який дозволяє мінімізувати рівень негативної дії хімічного виробництва на навколишнє середовище;
- підвищення ефективності очищення виробничих стічних вод до рівня, що дозволяє їх повторно використовувати для технологічних потреб;
- забезпечення максимальної ефективності використання основних фондів споруд біологічної очистки;
- забезпечення бар'єрної функції біохімічних очисних споруд - максимальне запобігання попаданню рідких відходів хімічного виробництва у водоймища-приймачі очищених стічних вод. Споруди біологічної очистки можуть мати різні технологічні схеми, які вибирають залежно від характеристик стічних вод,

що поступають в них. Найбільш проста схема біологічного очищення промислових стічних вод показана на рис. 1.1.

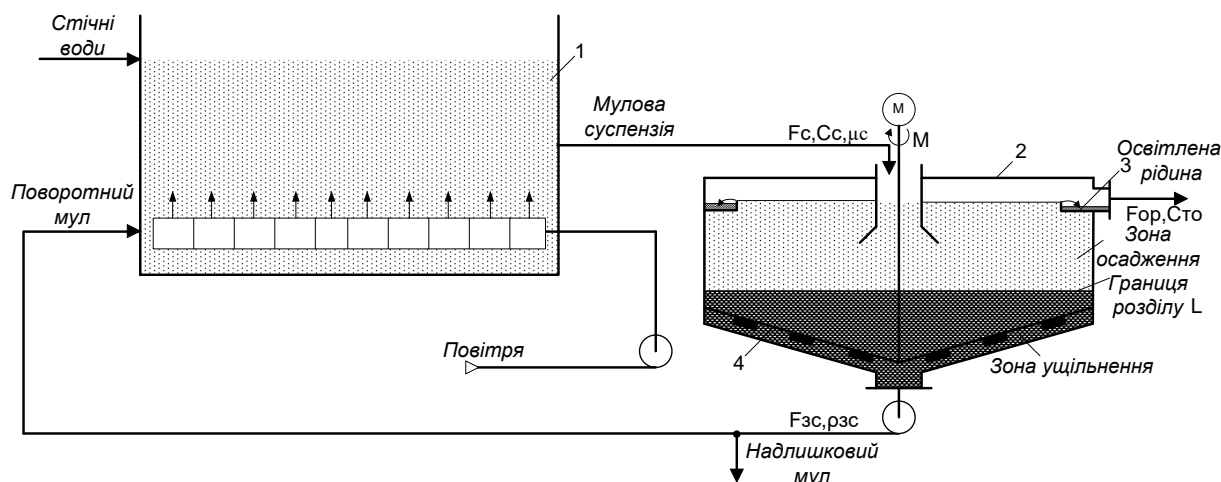


Рис. 1.1. Технологічна схема біологічної очистки стічних вод: 1 - аеротенк; 2- відстійник; 3- переливний пристрій; 4- мішалка;  $F_c, C_c, \mu_c$  – відповідно витрата, концентрація та в'язкість мулової суспензії;  $F_{op}$ - витрата освітленої рідини;  $C_{то}$  – концентрація твердої фази в освітленій рідині;  $F_{зс}, \rho_{зс}$  – відповідно витрата та густина згущеної суспензії;  $L$  – рівень границі розділу зон осадження та ущільнення у відстійнику;  $M$  – момент на валу електродвигуна мішалки відстійник.

Стічні води поступають в аеротенк 1. З аеротенку суміш мулу з витратою  $F_c$ , концентрацією  $C_c$  та в'язкістю  $\mu_c$  прямує у відстійник 2, де очищена рідина відділяється від активного мулу і прямує в пристрої доочистки або безпосередньо у водоймище із значенням витрати  $F_{op}$ . Концентрація твердої фази в освітленій рідині становить  $C_{то}$ . Активний мул густиною  $\rho_{зс}$  із відстійника повертається з витратою  $F_{зс}$  в аеротенк у вигляді поворотного мулу, а частково у вигляді надлишкового мулу прямує на обробку. Для перемішування стічних вод і поворотного активного мулу та насичення отриманої мулової суміші киснем в нижню частину аеротенка через багаточисельні секції подається повітря. Разом з промисловими та

агропромисловими стічними водами можуть очищатися і господарчо-побутові стічні води.

Розглянута технологічна схема біохімічних очисних споруд найбільш проста по апаратурному оформленню, проте її можливо застосовувати тільки в тому випадку, якщо стічні води мають стабільний склад і незмінні основні параметри: витрату, показник рН, температуру, вміст забруднюючих речовин.

При виборі технологічної схеми біологічної очистки необхідно враховувати наступне:

- стійкий технологічний процес біологічного очищення можна забезпечити тільки в тому випадку, якщо на вхід аеротенка подається змішаний стік стабільних і заданих параметрів. Як правило, від агропромислових та хімічних виробництв на очисні споруди поступають стічні води змінного складу. Тому при проектуванні споруд в технологічній схемі необхідно в обов'язковому порядку передбачити усереднюючі ємності;

- першим критерієм вибору технологічної схеми очисних споруд повинне бути забезпечення вимог до якості очищених стічних вод, тобто подальшій порівняльній економічній оцінці повинні піддаватися тільки технологічні схеми, що забезпечують отримання очищених стічних вод не гірше заданої якості;

- остаточний варіант технологічної схеми біохімічних очисних споруд повинен вибиратися з умови мінімізації приведених витрат, які визначаються по формулі:

$$P = C + E_n K, \quad (1.1)$$

де  $P$  - приведені витрати, грн/год;  $C$  - поточні експлуатаційні витрати, грн/год;  $E_n$  - нормативний коефіцієнт ефективності; зазвичай  $E_n=0,12$ ;  $K$  - сумарні капітальні витрати, грн.

#### *Технологічні показники біологічної очистки активного мулу*

Біологічна очистка стічних вод є складною динамічною системою, стійкість функціонування якої обумовлюється роботою основних хімічних виробництв.

Завдання керування режимом роботи всього комплексу очисних споруд полягає в тому, щоб досягти максимальних значень основних вихідних

технологічних показників, до яких відносяться окислювальна потужність аеротенків і сукупність показників якості очищеної стічної рідини, що відповідають нормам, передбаченим умовами випуску стічних вод у водоймище.

Окислювальна потужність (ОП) споруди може бути виражена наступним рівнянням :

$$ОП = \frac{v_m S C_o X}{K_s C_o + K_o S + C_o S} \left( \frac{1}{1 + \phi X} \right) K_T, \quad (1.2)$$

де  $v_m$  - максимальна питома швидкість біохімічної деструкції субстрату, віднесена до одиниці активної біомаси мікроорганізмів;  $S$  - концентрація субстрату (кількість органічних речовин, мг/л);  $C_o$  - концентрація розчиненого кисню;  $X$  - концентрація мікроорганізмів активного мулу;  $K_s$ ,  $K_o$ ,  $K_T$  і  $\phi$  - константи, що враховують відповідно вплив концентрації субстрату, розчиненого кисню, температури середовища та інгібування продуктами метаболізму мікроорганізмів активного мулу на ОП.

Величина  $v_m$  залежить від природи органічних речовин, які входять до складу забруднень стічних вод і від ступеня адаптації до них мікроорганізмів активного мулу. Із збільшенням ступеня адаптації величина  $v_m$ , а отже і ОП споруди можуть істотно зростати.

Показниками якості очищення стічних вод можуть бути: абсолютна кількість уловлюваної речовини, абсолютна кількість речовини, що проходить через очисні споруди, відношення цих кількостей, а також відповідні питомі показники. Ступінь очистки - це зниження концентрації забруднюючої речовини після очищення  $C_2$  в порівнянні з концентрацією цієї речовини до очищення  $C_1$ :

$$CO = \frac{\Delta C}{C_1} = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1}, \quad (1.3)$$

де  $CO$  - ступінь очистки.

Ефективна біологічна очистка стічних вод обумовлює, в свою чергу, зниження рівня екологічної ємності хімічного виробництва по даному виду



відходів, що потрапляють в навколишнє середовище і обчислюються на одиницю річного об'єму товарної продукції, що випускається:

$$E = \frac{C_2 Q_{ст}}{P}, \quad (1.4)$$

де  $E$  - екологічна ємність виробництва по даному виду відходів (стічні води), г/грн;  $C_2$  - концентрація забруднень в очищених стічних водах, г/м<sup>3</sup>;  $Q_{ст}$  - витрата очищених стічних вод, м<sup>3</sup>/год;  $P$  - вартість товарної продукції, що випускається хімічним виробництвом, грн/год.

Основними технологічними показниками, що характеризують роботу аеротенку, є період аерації, витрата повітря, кількість поступаючих забруднюючих речовин. При цьому аналітично визначають розчинений кисень в аеротенку. Стан мулу і його активність, а також ефективність роботи відстійника контролюються показниками складу активного мулу, його дози в аеротенку, величинами, що характеризують питому швидкість окислення забруднюючих речовин, віком активного мулу і ступенем його регенерації. Регулювання цих показників досягається зміною кількості поворотного активного мулу, зміною навантаження на 1 г беззольного мулу, зміною кількості органічних забруднень в стічних водах, що очищаються, зміною періоду аерації в аеротенку. Час перебування активного мулу у відстійниках регулюється роботою мулових насосів. Для контролю вказаних операцій визначають об'єм активного мулу в аеротенку ( $y$  %), дозу активного мулу ( $y$  г/л), індекс мулу, приріст активного мулу, навантаження на мул.

Для визначення концентрації активного мулу за масою пробу пропускають через мембранні фільтри. Концентрацію активного мула з розрахунку на суху масу розраховують по формулі ( $y$  г/л):

$$CB = \frac{1000(a-b)}{V}, \quad (1.5)$$

де  $a$  - маса мембранного фільтру з мулом, г;  $b$  - маса мембранного фільтру без мулу, г;  $V$  - об'єм профільтрованої суміші мулу, мл.

Щоб визначити індекс мулу, пробу суміші мулу розбавляють до 1 г/л, добре збовтують, наливають до мітки в літровий градуйований циліндр і відстоюють

протягом 30 хв. Відзначають об'єм, який займає мул, в мл і визначають концентрацію сухої речовини активного мулу (у г/л):

$$\text{Індекс мулу} = \text{Об'єм мулу (у мл/л)} / \text{суху речовину (у г/л)}. \quad (1.6)$$

Стан активного мулу контролюють також методами мікроскопічного, гідробіологічного і мікробіологічного досліджень. Для аналізу ефективності роботи аеротенків необхідно щодоби проводити мікроскопічне і гідробіологічне дослідження активного мулу.

## **1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах**

Показники, що характеризують завершеність і швидкість біохімічних перетворень забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу в процесі очистки стічних вод, визначаються умовами біохімічної очистки. Під умовами біохімічної очистки стічних вод розумієм умови, що створюються в широко застосовуваних на практиці аераційних спорудах, - аеротенках, які технологічно зв'язані з відстійниками і являють собою циркуляційну систему для забезпечення розвитку мікроорганізмів активного мулу.

Конкретні конструктивні особливості аеротенків, такі як централізація або децентралізація впуску очищуваних стічних вод і поворотного активного мулу, тип аераторів, а також конструктивні особливості відстійників здійснюють значний вплив на ефективність окислювальних процесів, так як сприяють формуванню умов функціонування активного мулу.

Для забезпечення нормального технологічного режиму в аеротенк подають стічні води і рециркулюючий мул, що містить бактерії. Для їх перемішування і насичення отриманої мулової суміші киснем в нижню частину аеротенку через багаточисельні секції подається повітря.

Аеротенк представляє собою відкриту водну систему, в якій проходить біохімічне перетворення органічних речовин в момент змішування стічної рідини з активним мулом і протягом всього процесу. В процесі біохімічного окислення компонентів стічних вод хімічних виробництв активним мулом

важливе значення також має його кількість в аеротенку, виражене беззольною речовиною в грамах на літр мулової суміші. Найбільший вплив доза активного мулу здійснює на процеси окислення вуглеводовмісних компонентів стічних вод.

Аналіз кінетики біохімічного перетворення забруднюючих речовин стічних вод хімічної промисловості виділив найбільш вагомі фактори, що впливають на інтенсивність процесу в аеротенку:

а). найбільш повна відповідність технологічних параметрів режиму роботи біологічних очисних споруд умовам, що характеризують оптимальний баланс джерел вуглецевого та азотного живлення;

б). виняткова пристосовуваність мікроорганізмів до змінних умов існування, до джерел живлення неприродного походження, а також вирощування бактерій активного мулу в умовах очистки концентрованих стічних вод;

в). симбіотичний характер існування мікробних асоціацій, що дозволяє сформувати активний мул з підсиленими фізіологічними властивостями.

Показником ефективності процесу в аеротенку є концентрація органічних забруднень на його виході, тому метою керування є підтримання цієї концентрації на гранично допустимому значенні. На показник ефективності впливає концентрація органічних забруднень в поступаючих стічних водах, витрата стоків, концентрація бактерій та розчиненого кисню в муловій суміші, а також тривалість перебування стічних вод в апараті. Процес регулюють за кількістю органічних речовин в стічних водах, що поступають на очистку, яку розраховують згідно витрати стічних вод і зміни в них концентрації розчиненого кисню.

Із аеротенку мулова суміш направляється у відстійник, де очищена рідина відділяється від активного мулу. Відстійники виконують важливу функцію при очищенні стоків методами біологічної обробки.

Залишкова суспензія біомаси і активного мулу, що виноситься потоком з аеротенку може викликати вторинне забруднення стоків. Тому крупні пластівці біомаси відділяються відстоюванням. Зібрані осідання біомаси видаляються з

відстійників і відправляються на подальшу переробку. Зазвичай для процесу відстоювання в біологічній очистці стічних вод застосовуються відстійники неперервної дії з гребками, забезпечені муловими насосами (рис.1.2). У ряді випадків використовують двох'ярусні відстійники, в яких процеси збору осаду і його бродіння протікають в окремих резервуарах, суміщених в одному апараті.

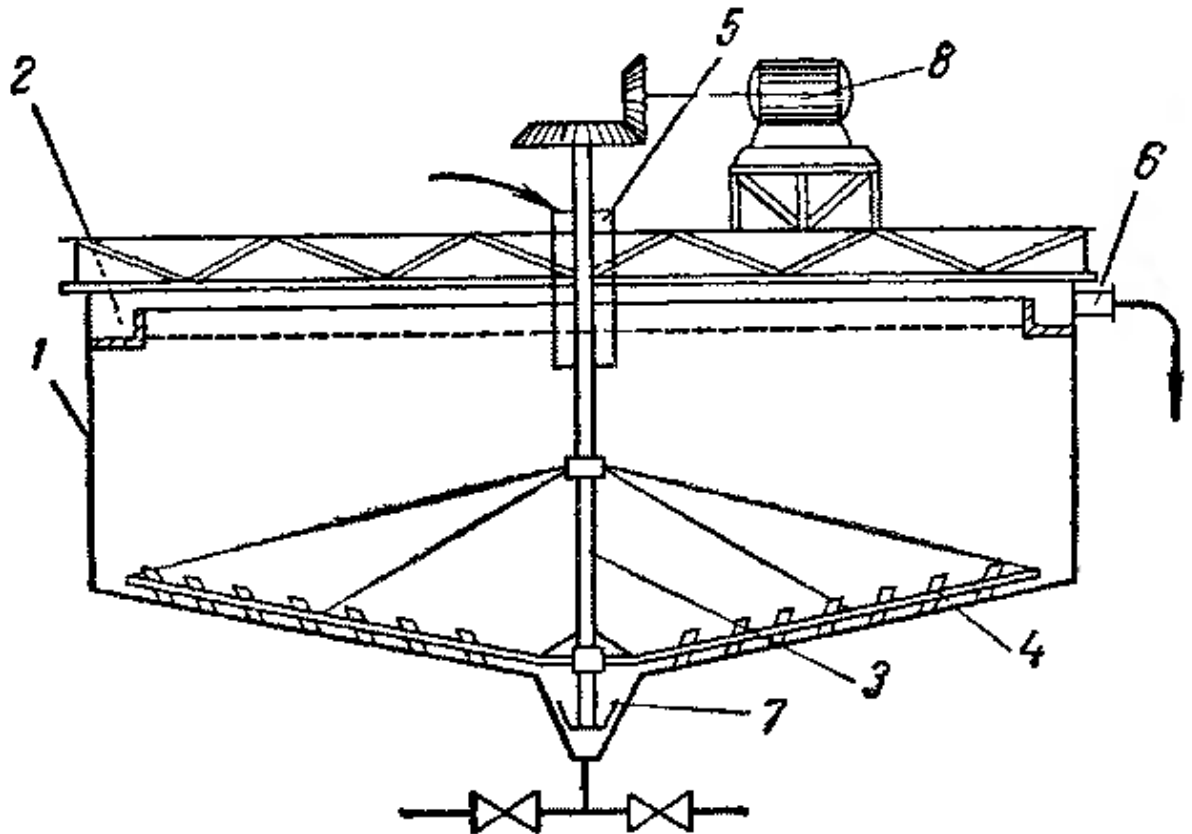


Рис.1.2. Відстійник неперервної дії з гребковою мішалкою: 1 - корпус; 2 - кільцевий жолоб; 3 - мішалка; 4 - лопасті з гребками; 5 - труба для подачі початкової суспензії; 6 - штуцер для виведення освітленої рідини; 7 - розвантажувальний пристрій для осаду (шламу); 8 - електродвигун.

Відстійник неперервної дії з гребковою мішалкою (рис.1.2.) є невисоким циліндричним резервуаром 1 з плоским, дещо конічним дном і внутрішнім кільцевим жолобом 2 вздовж верхнього краю апарату. У резервуарі встановлена мішалка 3 з похилими лопастями, на яких є гребки 4 для неперервного переміщення осідаючого матеріалу до розвантажувального отвору 7. Одночасно гребки злегка збовтують осад, сприяючи цим ефективнішому його

обезводненню. Мішалка робить від 0,015 до 0,5 об/хв, тобто обертається настільки повільно, що не порушує процесу осадження. Початкова рідка суміш неперервно подається через трубу 5 в середину резервуару. Освітлена рідина переливається в кільцевий жолоб і віддаляється через штуцер 6. Осад (шлам) - текуча згущена суспензія (з концентрацією твердої фази не більше 35-55%) - видаляється з резервуару за допомогою діафрагмового насосу. Вал мішалки приводиться в рух від електродвигуна 8 через редуктор.

Разом з осадом, що видаляється, часто втрачається значна кількість рідини, тому для зменшення її втрат і виділення рідини із згущеної суспензії, осад з першого відстійника направляють в інший відстійник для відмивання водою і подальшого відстоювання. Осад, отриманий в другому апараті, міститиме таку ж кількість рідини, що й осад в першому відстійнику, але вже значно розбавленою водою. За наявності декількох послідовно сполучених відстійників можна видалити із осаду до 97-98% рідини. Для зменшення кількості промивної води відстоювання проводять за принципом протитечії: осад послідовно рухається з першого відстійника в останній, а вода - в напрямі, зворотньому до руху осаду, від останнього відстійника до першого. Промивну воду використовують потім для приготування початкової суспензії.

Крім неперервності дії і великої продуктивності (що складає іноді 3000 т/добу осаду) гребкові відстійники мають наступні переваги: в них досягається рівномірна щільність осаду, є можливість її регулювання шляхом зміни продуктивності, забезпечується ефективніше обезводнення осаду внаслідок легкого збовтування його мішалкою. Робота таких відстійників може бути повністю автоматизована. До недоліків цих апаратів слід віднести їх громіздкість. Гребкові нормалізовані відстійники мають діаметр від 1,8 до 30 м, а в деяких виробництвах, наприклад для очищення води, відстійники досягають в діаметрі 100 м..

Основною характеристикою процесу відстоювання є *швидкість осадження*, тобто швидкість відносного руху твердих частинок. Згідно цієї швидкості необхідно розрізняти вільне (під дією сил тяжіння в необмеженому об'ємі,

якщо концентрація дисперсної фази дуже мала і її частинки при русі не стикаються одна з одною) та обмежене (в обмеженому об'ємі при великій концентрації дисперсної фази) осадження.

У промисловості процеси осадження дуже часто проводяться в обмеженому об'ємі при великій концентрації дисперсної фази, тобто в умовах, коли частинки, що осідають, можуть впливати на рух інших частинок.

Досвід показує, що при відстоюванні неоднорідних систем спостерігається поступове збільшення концентрації диспергуючих частинок в апараті у напрямі зверху вниз (рис. 1.3). Над шаром осаду (зона 1) утворюється зона згущеної суспензії (зона 2), в якій відбувається обмежене осадження частинок, що супроводжується тертям між частинками і їх взаємними зіткненнями. При цьому дрібніші частинки гальмують рух більших, а частинки великих розмірів захоплюють за собою дрібні частинки, прискорюючи їх рух. В результаті спостерігається тенденція до зближення швидкостей осадження частинок різних розмірів; виникає колективне або солідарне осадження частинок з приблизно однаковими швидкостями в кожному перетині апарату, але різними швидкостями по його висоті. Поступове ущільнення зумовлене зменшенням швидкості частинок по мірі наближення до дна апарату. Уповільнення пояснюється гальмуючою дією рідини, що витісняється осідаючими частинками і рухається від нерухомої перегородки (дна) в напрямку, зворотньому до руху частинок.

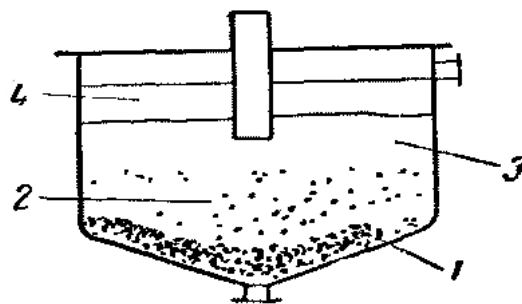


Рис. 1.3. Схема процесу відстоювання: 1 – шар осаду (шламу); 2 – зона згущеної суспензії; 3 – зона вільного осадження; 4 – освітлена рідина

Як видно з рис.1.3, утворюється чітко виражена межа між зоною обмеженого осадження (зона 2) і вище розташованою зоною вільного осадження (зона 3), над якою розташовується освітлена рідина (зона 4). Така схема дещо спрощує дійсну картину процесу осадження, яка зазвичай є ще складнішою внаслідок утворення між вказаними вище основними зонами проміжних (перехідних) зон.

При періодичному процесі відстоювання висота окремих зон змінюється в часі до моменту повного розшарування неоднорідної системи на осад та освітлену рідину. На початку відстоювання осідають переважно крупніші частинки, що викликають найбільш інтенсивний зворотній рух рідини. Проте, по мірі зменшення концентрації цих частинок гальмуючий вплив зворотнього руху рідини слабшає і швидкість відстоювання зростає до моменту встановлення динамічної рівноваги між діючою силою (вагою) і силою опору середовища. Швидкість обмеженого осадження є меншою від швидкості вільного осадження. Це пояснюється тим, що при обмеженому осадженні на частинки діє не тільки більший опір середовища, але й додатковий опір, зумовлений тертям і зіткненнями частинок. Збільшення опору середовища пов'язане в даному випадку з динамічною дією на неї всієї маси осідаючих частинок, яка призводить до виникнення висхідного потоку середовища, а також із зростанням в'язкості середовища.

З гідродинамічної точки зору обмежене осадження аналогічне до відповідного стану завислого (псевдозрідженого) шару твердих частинок. Швидкість обмеженого осадження відповідає верхній межі існування завислого шару, коли швидкість потоку середовища досягає величини, при якій подальше її збільшення призводить до виносу частинок з псевдозрідженого шару.

Тому умова рівномірного осадження частинок в нерухомому середовищі ідентична умові руху частинок у висхідному потоці. Отже, закономірності обмеженого осадження зручно вивчати при русі висхідного потоку рідини (газу) через шар завислих у ньому частинок. При цьому швидкість обмеженого

осадження рівна швидкості потоку середовища через завислий шар частинок і залежить від концентрації частинок в об'ємі рідини (газу). Очевидно, при об'ємній концентрації частинок, що наближається до нуля, швидкість обмеженого осадження наближається до максимуму - швидкості вільного осадження.

Для того, щоб показати, що швидкість обмеженого осадження  $\omega_{обм}$  рівна швидкості потоку середовища  $\omega_{п.с}$ , яка необхідна для зависання шару частинок при тій же пористості, що й концентрована суспензія, розглянемо усталений процес відстоювання, при якому величина  $\omega_{обм}$  є постійною, тобто коли вага рівномірно падаючих частинок врівноважується силою опору потоку.

Осідаючі частинки витісняють вгору відповідний об'єм рідини. При цьому швидкість  $v$  рідини у вільному перетині шару (відносно стінок апарату) може бути визначена з умови рівності об'ємних витрат потоку і частинок. Об'ємна частка рідини в неоднорідній рідкій системі, об'єм якої рівний сумі об'ємів рідини  $V_p$  і частинок  $V_c$ , становить

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_p + V_c}.$$

Тоді об'ємна витрата рідини, приведена до одиниці площі вільного перетину апарату, рівна добутку  $v\varepsilon$ , а об'ємна витрата твердої фази визначається добутком  $\omega_{обм}(1-\varepsilon)$ , де  $\omega_{обм}$  - швидкість обмеженого осадження відносно стінок апарату.

Таким чином:

$$v\varepsilon = \omega_{обм}(1-\varepsilon). \quad (1.7)$$

Швидкість руху рідини відносно частинок із врахуванням протитечії фаз:

$$\omega_{відн} = v - (-\omega_{обм}) = v + \omega_{обм}, \quad (1.8)$$

де знак «-» перед  $\omega_{обм}$  показує, що вектор швидкості частинок направлений в сторону, протилежну до вектора швидкості потоку рідини.

Підставляючи замість  $v$  його значення із залежності (1.7), отримаємо:

$$\omega_{відн} = \frac{\omega_{обм}(1-\varepsilon)}{\varepsilon} + \omega_{обм} = \frac{\omega_{обм}}{\varepsilon}. \quad (1.9)$$



Для того, щоб сила опору потоку рідини зрівноважувала вагу осідаючих частинок, відносна швидкість  $\omega_{\text{відн}}$  повинна за абсолютною величиною дорівнювати швидкості потоку у вільному перерізі апарату ( $\omega_{\text{п.с}}/\varepsilon$ ), яка необхідна для зависання частинок в середовищі і отримання завислого шару тієї ж пористості, що і концентрована суспензія. Отже, необхідним є дотримання рівності:

$$\omega_{\text{відн}} = \frac{\omega_{\text{п.с}}}{\varepsilon}.$$

Звідси випливає (враховуючи вираз 1.9):

$$\frac{\omega_{\text{обм}}}{\varepsilon} = \frac{\omega_{\text{п.с}}}{\varepsilon}$$

або

$$\omega_{\text{обм}} = \omega_{\text{п.с}}. \quad (1.10)$$

Таким чином, загальна розрахункова залежність для визначення швидкості обмеженого осадження повинна бути аналогічна залежності, що описує швидкість потоку в завислому шарі, тобто виражатися функцією:

$$\text{Re}_{0,\text{обм}} = f(\text{Ar}, \varepsilon). \quad (1.11)$$

Інтерполяційне рівняння, отримане на основі узагальнення дослідних даних, яке застосовується у всіх областях осадження, має наступний вигляд:

$$\text{Re}_{0,\text{обм}} = \frac{\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.6\sqrt{\text{Ar} \cdot \varepsilon^{4.75}}}. \quad (1.12)$$

Критерії  $\text{Re}_{0,\text{обм}}$  і  $\text{Ar}$  виражаються за певними співвідношеннями:

$$\text{Re}_{0,\text{обм}} = \frac{\omega_{\text{обм}} \cdot d \cdot \rho}{\mu},$$

де  $d$  - діаметр шару, який має такий самий об'єм, що й частинка;  $\rho$  - густина середовища;  $\mu$  - в'язкість середовища;

$$\text{Ar} = \frac{d^2 \rho^2 g}{\mu^2} \cdot \frac{\rho_T - \rho}{\rho},$$

де  $d$  - діаметр частинки;  $\rho_T$  - густина твердої частинки.

Визначивши за рівнянням (1.12) величину критерію  $\text{Re}_{0,\text{обм}}$ , знаходять із залежності для  $\text{Re}_{0,\text{обм}}$  швидкість обмеженого осадження  $\omega_{\text{обм}}$ .

Є також інші емпіричні рівняння для обчислення швидкості обмеженого осадження. В розрахунковій практиці користуються, зокрема, наступними формулами:

$$\text{при } \varepsilon > 0.7 \qquad \omega_{обм} = \omega_{в.ос} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1.82(1-\varepsilon)}, \qquad (1.13)$$

$$\text{при } \varepsilon \leq 0.7 \qquad \omega_{обм} = \omega_{в.ос} \cdot \frac{0.123 \cdot \varepsilon^3}{1 - \varepsilon}, \qquad (1.14)$$

де  $\omega_{в.ос}$  - швидкість вільно осідаючої частинки, що визначається за залежністю:

$$\omega_{в.ос} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_T - \rho)}{3\zeta\rho}}, \quad \text{де } \zeta - \text{коєфіцієнт гідравлічного опору.}$$

Залежності (1.2.6), (1.2.7) і (1.2.8) дозволяють розраховувати швидкість обмеженого осадження  $\omega_{обм}$  (м/сек) в нерухомому середовищі кулеподібних частинок одного розміру відносно нерухомих стінок апарату. При виведенні цих залежностей не враховувався вплив розподілу частинок за їх розмірами і формою на швидкість осадження. Тому при осадженні частинок некулеподібної форми величина  $\omega_{обм}$ , отримана за наведеними вище залежностями, повинна бути домножена на поправочний коефіцієнт, менший одиниці, - так званий коефіцієнт форми  $\varphi$ , орієнтовні значення якого визначають шляхом експериментів. Так, для частинок кулеподібної форми  $\varphi \approx 0.77$ , для частинок з кутами  $\varphi \approx 0.66$ , для видовжених частинок  $\varphi \approx 0.58$  і для пластинчатих частинок  $\varphi \approx 0.43$ . Проте для визначення поправочного коефіцієнта, що враховує вплив неоднаковості розмірів одночасно осідаючих частинок, досі немає надійних даних. Вплив руху середовища на швидкість відстоювання, пов'язане з відхиленнями падаючих частинок від вертикального напрямку руху, також ще не піддається розрахунку, а приймається за експериментальними даними.

#### *Розрахунок відстійника*

Відстійники проектується з розрахунку на осадження найдрібніших частинок, що знаходяться в початковій суміші. Тому час перебування суміші,

що обробляється в даному апараті, повинен бути більшим найбільшого часу осадження або в межах рівний часу, необхідному для обмеженого осадження частинки найменшого розміру на дно апарату із заданої висоти.

Нехай за час  $\tau$  (с) суспензія розділяється на шар згущеної суспензії (осад) і шар освітленої рідини висотою  $h$  (м). При поверхні осадження  $F$  (м<sup>2</sup>) об'єм освітленої рідини, отриманої за одиницю часу,  $V_{осв}$  (м<sup>3</sup>/сек) буде визначатися:

$$V_{осв} = \frac{hF}{\tau} \quad (1.15)$$

За той же час частинки, що осідають із швидкістю  $\omega_{обм}$ , повинні проходити шлях  $h$  (м). Отже:

$$h = \omega_{обм} \tau \quad (1.16)$$

Підставляючи значення  $h$  з рівняння (1.16) в рівняння (1.15), отримаємо:

$$V_{осв} = \frac{\omega_{обм} \cdot \tau \cdot F}{\tau} = \omega_{обм} F \quad (1.17)$$

Рівняння (1.17) показує, що *продуктивність відстійника не залежить в явному вигляді від його висоти, а залежить тільки від швидкості і поверхні осадження*. Тому відстійники мають значну поверхню осадження при невеликій висоті, яка зазвичай не перевищує 1,8-4,5 м, а для відстійників дуже великих діаметрів - не більше 7 м.

Необхідну поверхню осадження (в м<sup>2</sup>) знаходимо з виразу

$$F = \frac{V_{осв}}{\omega_{обм}} \quad (1.18)$$

Об'єм освітленої рідини  $V_{осв}$  при її щільності  $\rho_{осв}$  (кг/м<sup>3</sup>) складає  $V_{осв} = G_{осв} / \rho_{осв}$ , де  $G_{осв}$  - маса освітленої рідини в кг. Тоді

$$F = \frac{G_{осв}}{\rho_{осв} \cdot \omega_{обм}} \quad (1.19)$$

Підставляючи з рівняння матеріального балансу значення  $G_{осв}$  у вираз (1.19), визначимо поверхню осадження:

$$F = \frac{G_{см}}{\rho_{осв} \cdot \omega_{обм}} \left( \frac{x_{ос} - x_{см}}{x_{ос} - x_{осв}} \right), \quad (1.20)$$

де  $G_{cm}$ ,  $G_{ocv}$ ,  $G_{oc}$  – кількість початкової суміші, освітленої рідини і отриманого осаду відповідно, кг;

$X_{cm}$ ,  $X_{ocv}$ ,  $X_{oc}$  – вміст речовини В початковій суміші, в освітленій рідині і в осаді, масові доли.

При виведенні рівняння (1.20) не враховувалася нерівномірність руху рідини по всій площі відстійника - від точки введення її в апарат до переливного пристрою. У зв'язку з цим допускалося, що в апараті відсутні застійні зони і не відбувається завихрення рідини, викликаного нерівномірністю осадження частинок. Як показує досвід, ці явища зменшують швидкість відстоювання в промислових відстійниках. Крім того, у міру руху системи, що розділяється, через зони відстоювання вміст завислої фази в ній поступово збільшується і, отже, швидкість відстоювання поступово зменшується. Врахувати кількісний вплив вказаних чинників на швидкість відстоювання поки не є можливим. Тому в інженерних розрахунках поверхню відстійника, визначену по рівнянню (1.20), зазвичай збільшують, згідно з експериментальними даними, орієнтовно на 30-35%.

Отже, показником ефективності процесу відстоювання є концентрація твердої фази в освітленій рідині, а метою керування процесом відстоювання – підтримання її на заданому значенні.

### 1.3. Матеріальний баланс процесу

Нехай розділенню підлягає система, яка складається із речовини А (суцільна фаза) та завислих в ній твердих частинок В (дисперсна фаза). Введемо позначення:

$G_{cm}$ ,  $G_{ocv}$ ,  $G_{oc}$  – кількість початкової суміші, освітленої рідини і отриманого осаду відповідно, кг;

$X_{cm}$ ,  $X_{ocv}$ ,  $X_{oc}$  – вміст речовини В в початковій суміші, в освітленій рідині і в осаді, масові доли.

При відсутності втрат в процесі розділення рівняння матеріального балансу матиме вигляд:

- по загальній кількості речовини:

$$G_{\text{см}} = G_{\text{осв}} + G_{\text{ос}} \quad (1.21)$$

- по дисперсній фазі (речовині В):

$$G_{\text{см}} X_{\text{см}} = G_{\text{осв}} X_{\text{осв}} + G_{\text{ос}} X_{\text{ос}} \quad (1.22)$$

Спільний розв'язок рівнянь (1.21) та (1.22) дозволяє визначити кількість освітленої рідини  $G_{\text{осв}}$  та кількість осаду  $G_{\text{ос}}$ , отриманих при заданій кількості речовини в осаді та освітленій рідині:

$$G_{\text{осв}} = [G_{\text{см}} (X_{\text{ос}} - X_{\text{см}})] / (X_{\text{ос}} - X_{\text{осв}}) \quad (1.23)$$

$$G_{\text{ос}} = [G_{\text{см}} (X_{\text{см}} - X_{\text{осв}})] / (X_{\text{ос}} - X_{\text{осв}}) \quad (1.24)$$

Вміст завислих частинок в освітленій рідині і в осаді вибирають в залежності від конкретних технологічних умов процесу розділення. При цьому вміст речовини в освітленій рідині часто обмежується певною нижньою межею.

#### **1.4. Обґрунтування технологічних параметрів з точки зору завдання на автоматизацію**

Процес відстоювання проводиться з метою повного вилучення твердої фази (біомаси) з рідини, тому показником ефективності процесу є концентрація твердої фази в освітленій рідині, а метою керування – підтримання її на заданому значенні. Найважливішими факторами, які впливають на концентрацію твердої фази в освітленій рідині, є:

- зміна витрати суспензії;
- густина твердої фази;
- густина рідкої фази;
- концентрація суспензії;
- динамічна в'язкість суспензії;
- гранулометричний склад твердої фази;

Всі ці збурення визначаються технологічним режимом попереднього процесу, тому виключити їх при керуванні процесом відстоювання неможливо, їх значення тільки контролюють.

Особливо сильними збуреннями є зміна витрати суспензії і концентрації твердої фази в ній.

Інтенсивність процесу відстоювання характеризується швидкістю осадження твердих частинок. Швидкість осадження залежить від таких факторів, як: діаметр частинки, густини рідкої і твердої фази, об'ємної частки рідини суспензії, динамічної в'язкості суспензії. Всі перераховані параметри змінюються в часі, а отже, швидкість осадження неможливо стабілізувати. Тому для підтримання концентрації твердої фази в освітленій рідині на заданому рівні при зміні швидкості осадження підбирають такий діаметр відстійника, щоб час перебування рідкої фази в апараті перевищував час, необхідний для осідання твердих частинок в ньому.

Рівень рідини у відстійнику підтримується постійним за рахунок вільного переливу освітленої рідини.

Густина твердої фази в нижній частині відстійника залежить від режиму роботи апарату. Режим роботи відстійника визначається зміною потужності, що споживається приводом електродвигуна мішалки.

В процесі відстоювання необхідно підтримувати на постійному рівні границю розділу фаз осідання та ущільнення, яка залежить від витрати згущеної суспензії. Вплив перелічених факторів на ефективність процесу відстоювання враховується при виборі та розміщенні пристроїв для регулювання рівня границі розділу фаз, виборі і обґрунтуванні систем автоматичного регулювання.

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

Мулова суміш неперервно подається з аеротенку в центральну частину відстійника, де під дією сил тяжіння відбувається процес розділення суспензії

на рідку та тверду фази. Пластівці біомаси осідають в нижній частині апарату, утворюючи згущену суспензію. В результаті утворюється чітко виражена межа між освітленою рідиною та шаром осаду. За рахунок вільного переливу освітлені стічні води видаляються з відстійника.

Витрата початкової суспензії і концентрація біомаси в ній мають дуже велике значення для процесу. Перевищення цих параметрів за допустимі значення може призвести до підвищення мутності освітленої рідини і виведення частини біомаси разом з нею, а відповідно, до зниження ефективності відстоювання. І навпаки, при зниженні - осад у відстійниках надмірно ущільнюється, що ускладнює роботу мулового насоса (пристрою для видалення осаду) та гребкового механізму. При цьому зростає потужність, що споживається електродвигуном мішалки, що в свою чергу призводить до збільшення енергетичних, а отже, економічних витрат. Тому номінальне значення споживаної потужності приводу електродвигуна мішалки становить 800 кВт.

Максимальне значення витрати початкової суспензії становить 700 м<sup>3</sup>/год. Допускаються відхилення витрати, але не нижче 600 м<sup>3</sup>/год і не вище 800 м<sup>3</sup>/год.

Так як витрата початкової суспензії і концентрація біомаси в ній визначаються ходом попереднього технологічного процесу, то велику роль відіграє раціональний вибір діаметра відстійника, від розміру якого залежить площа поверхні осадження. Саме швидкість і поверхня осадження визначають продуктивність відстійника.

Оптимальним діаметром відстійника для процесу біологічної очистки стічних вод є 30 м, висота - 3 м.

Муловий індекс становить 71,2 см<sup>3</sup>/год, номінальне значення концентрації мулу в освітленій воді 20 мг/л. Мутність освітленої рідини повинна постійно підтримуватися номінальною, згідно вимог до якості очищеної води.

Згідно вимог до якості води мутність освітленої рідини повинна підтримуватися в діапазоні від 18 до 22 мг/л. Допускаються короточасні відхилення мутності за встановлені межі, але не вище 25 мг/л.

Ефективність відстоювання можна регулювати за рівнем границі розділу фаз осідання та ущільнення. Рівень границі розділу фаз за рахунок неперервної подачі мулової суміші у відстійник встановлюється на заданому значенні. Його значення залежить від зміни витрати згущеної суспензії. Номінальне значення рівня границі розділу становить 1 м.

Значення рівня границі розділу фаз повинне підтримуватися номінальним напрутязі всього процесу з точністю  $\pm 0,1$  м. Допускаються короточасні відхилення рівня за встановлені межі, але не нижче 0,8 м і не вище 1,2 м.

З метою визначення впливу різних факторів проводяться спеціальні дослідження, з допомогою яких визначаються експлуатаційні значення технологічних параметрів, яких слід дотримуватися для досягнення ефективної та економічної роботи відстійника. Значення технологічних параметрів, визначені по результатах досліджень, наводяться в технологічній карті (табл. 1.1).

*Таблиця 1.1*

**Технологічна карта процесу відстоювання**

№	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустимі відхилення
1	Рівень границя розділу фаз	м	1	$\pm 0,1$
2	Мутність освітленої рідини	мг/л	20	$\pm 2$
3	Витрата початкової суспензії	м <sup>3</sup> /год	700	$\pm 100$
4	Витрата освітленої рідини	м <sup>3</sup> /год	500	$\pm 70$
5	Витрата згущеної суспензії	м <sup>3</sup> /год	200	$\pm 30$
6	Густина згущеної суспензії	кг/м <sup>3</sup>	1500	$\pm 100$
7	Споживана потужність електродвигуна мішалки	кВт	800	$\pm 20$



## 1.6. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Як об'єкт регулювання будемо розглядати відстійник неперервної дії з гребковими мішалками. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта наведена на рис. 1.4.

Для даного об'єкта регулювання вхідними величинами будуть:

$F_c$  – витрата суспензії;  $F_{op}$  – витрата освітленої рідини;

$F_{zc}$  – витрата згущеної суспензії.

Збурюючі величини:

$\rho_T$  – густина твердої фази;  $\rho_p$  – густина рідкої фази;

$M$  – момент на валу електродвигуна мішалки;  $\Delta F_c$  – зміна витрати суспензії;

$C_{TC}$  – концентрація твердих частинок в суспензії;

$\mu_c$  – в'язкість суспензії;  $D_T$  – дисперсність твердої фази;

Вихідні величини:  $L$  – рівень розділу фаз (границі розділу);

$C_{TO}$  – концентрація твердої фази в освітленій рідині.

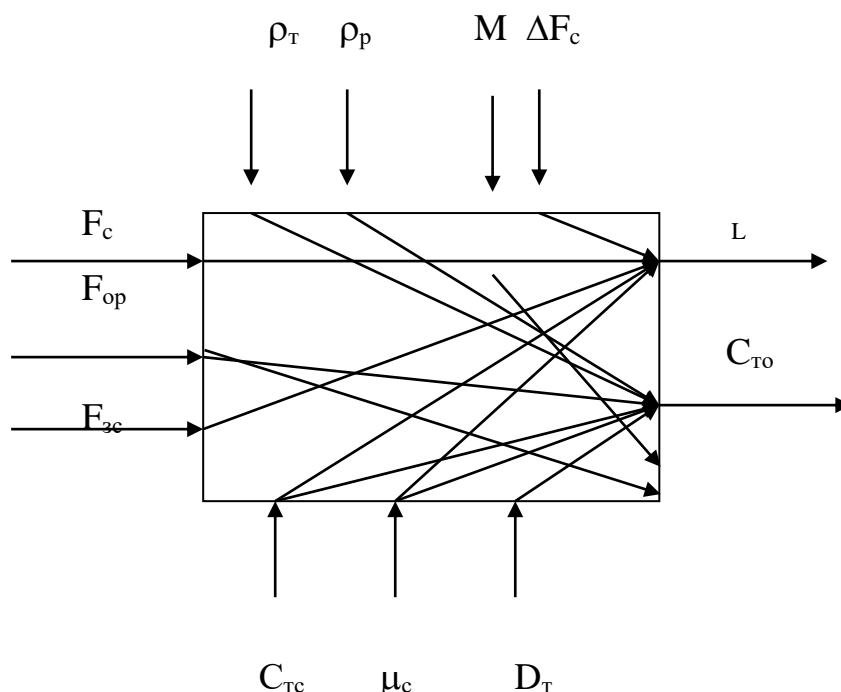


Рис.1.4. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами та факторами, що впливають на роботу відстійника

## 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

### 2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Вхідними величинами відстійника є витрата початкової суспензії  $F_c$ , витрата згущеної суспензії  $F_{zc}$  та витрата освітленої рідини  $F_{op}$ .

Вихідними величинами відстійника є рівень границі розділу зон осадження та ущільнення  $L$  і концентрація твердої фази в освітленій рідині  $C_{то}$ . Концентрацію твердої фази в освітленій рідині контролювати важко, тому основною вихідною величиною відстійника вважають рівень границі розділу зон.

Витрата початкової суспензії  $F_c$ , концентрація твердих частинок в суспензії  $C_{тс}$  та в'язкість суспензії  $\mu_c$  у більшості випадків визначаються ходом попереднього технологічного процесу і впливати на ці параметри важко, тому у більшості випадків їх значення контролюють. Всі перелічені параметри впливають на вихідні величини.

На концентрацію твердої фази в освітленій рідині впливає також значення моменту на валу електродвигуна мішалки  $M$  (або споживаної його приводом потужності), тому оберти мішалки вибирають оптимальними.

Аналізуючи структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами і сам процес відстоювання, можна зробити висновок, що такі вхідні величини, як в'язкість суспензії  $\mu_c$ , густина рідкої фази  $\rho_p$ , дисперсність твердої фази  $D_T$  незначно впливають на рівень границі розділу зон осадження та ущільнення (до 5 %). Тому ці параметри не враховуватимуться під час розроблення системи регулювання. А витрата початкової суспензії  $F_c$ , витрата згущеної суспензії  $F_{zc}$ , витрата освітленої рідини  $F_{op}$ , густина твердої фази  $\rho_T$ , момент на валу електродвигуна мішалки  $M$  мають значний вплив на вихідну величину, тому значення цих параметрів буде враховане під час автоматизації процесу відстоювання.

## **2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу очищення стічних вод**

Проектована система автоматизації повинна надійно захистити технологічне обладнання, оперативний персонал, докiлля, забезпечити найбільшу кількість функціональних ознак. Обсяг одержуваної технологічної інформації повинен бути достатнім для розрахунку техніко-економічних показників та прогнозування надійної роботи системи.

Регульованими технологічними параметрами у процесі відстоювання є рівень границі розділу зон осадження та ущільнення, який залежить від витрати згущеної суспензії та витрати початкової суспензії. Для підтримання рівня на заданому значенні регулююча дія має бути спрямована на зміну ступеня відкриття регулюючого органу на лінії згущеної суспензії. А для підтримання витрати початкової суспензії на заданому значенні регулююча дія має бути спрямована на зміну ступеня відкриття регулюючого органу на лінії подачі цієї суспензії.

Для того щоб мати можливість керувати з одного місця та здійснювати дистанційний контроль за об'єктом керування, необхідно на це місце вивести виміри всіх контрольованих параметрів.

Контрольовані технологічні параметри вибирають так, щоб їх кількість була мінімальною, але достатньою для отримання повної інформації про хід технологічного процесу.

У відповідності з діючими директивними вказівками контролюються наступні параметри процесу відстоювання:

- витрата початкової суспензії;
- витрата згущеної суспензії;
- витрата освітленої рідини;
- мутність освітленої рідини, яка є непрямим параметром, що характеризує показник ефективності процесу відстоювання;
- густина згущеної суспензії;
- рівень границі розділу зон осадження та ущільнення;

- споживана потужність приводу електродвигуна мішалки;
- режим роботи насосу згущеної суспензії.

Всі ці параметри підлягають неперервному контролю з необхідністю їх показів та реєстрації.

Сигналізації підлягають параметри, які можуть привести до аварії або істотно порушити технологічний режим. Такими параметрами є мутність освітленої рідини, споживана потужність приводу електродвигуна мішалки, рівень границі розділу зон осадження та ущільнення. Сигналізації підлягають також режими роботи насоса згущеної суспензії. Сигналізація відхилень цих параметрів здійснюється від мікропроцесорного пристрою (контролера РЕМІКОНТ Р-130) через блок перемикаючих реле (БПР-20). Ці сигнали виносяться на лампове табло.

Для полегшення виявлення спрацювання сигналу сигналізація відхилення виконана з блиманням кожного сигналу та подачею звуку по кожному параметру, що відхилився за допустимі межі.

Параметри такого захисту вибирають залежно від того, що може бути причиною аварії. Автоматичний захист передбачає виконання без втручання оператора окремих операцій керування при недопустимій зміні мутності освітленої рідини, а саме: припинення подачі початкової суспензії шляхом закриття регулюючого органу на цій лінії.

### 2.3. Визначення функціональних ознак системи автоматизації

Таблиця 2.1.

#### Функціональні ознаки системи автоматизації

№ п/п	Обсяг авто- матизації	Показ	Ресурсація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко-економічних показників	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
Назва параметра													
1	Рівень границя розділу фаз	+	+						+	+			+
2	Мутність освітленої рідини	+	+						+		+		
3	Витрата початкової суспензії	+	+							+			+
4	Витрата освітленої рідини	+	+										
5	Витрата згущеної суспензії	+	+										
6	Густина згущеної суспензії	+	+										
7	Споживана потужність приводу електродвигуна мішалки	+							+				
8	Режим роботи насоса згущеної суспензії	+							+	+			

### 2.4. Аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу

Побудова схем автоматизації процесу відстоювання зводиться до забезпечення необхідної ефективності процесу (мінімально можливого вмісту концентрації твердої фази в освітленій рідині). Як було сказано раніше, у

відстійнику цю умову визначають багато факторів, але основними серед них є рівень границі розділу зон осадження та ущільнення, витрата початкової суспензії, концентрація твердої фази в ній та густина згущеної суспензії. Але в багатьох випадках витрата початкової суспензії та концентрація твердої фази в ній визначаються технологічним режимом попереднього процесу, тому усунути їх при керуванні процесом відстоювання неможливо. Потреба в безпосередньому регулюванні показника ефективності процесу при цьому відпадає.

На рис. 2.1 зображена схема регулювання процесу відстоювання шляхом підтримування на постійному рівні границю розділу зон осадження і ущільнення. Цей рівень залежить від витрати згущеної суспензії, тому регулююча дія вноситься зміною ступеню відкриття регулюючого органу на лінії згущеної суспензії.

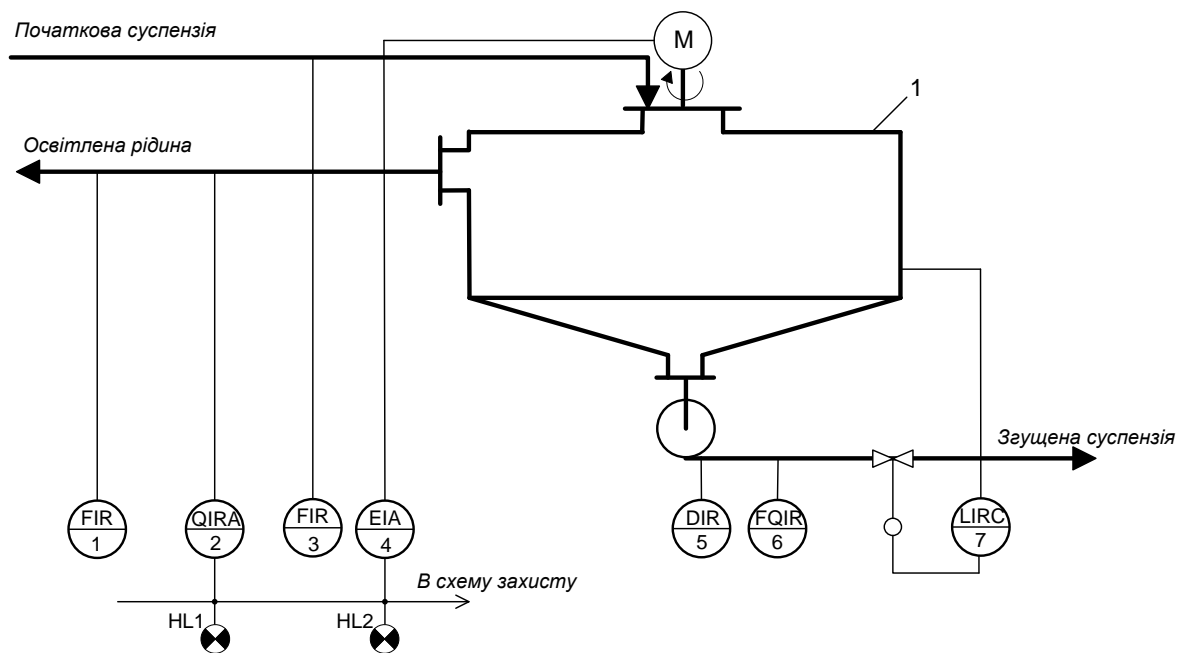


Рис.2.1. Схема регулювання процесу відстоювання шляхом підтримування на постійному рівні границю розділу зон осадження і ущільнення: 1 – відстійник

Регулювання щільності згущеної суспензії. У ряді відстійників проводиться процес згущення суспензії до заданого вмісту твердої фази (вологість осаду при відстоюванні може коливатися від 35 до 55%); при цьому вміст твердої фази в

зливів набуває другорядного значення. В цьому випадку йдуть по шляху регулювання густини згущеної суспензії.

Регулювання режиму роботи гребкового механізму. Густиною осаду можна регулювати також за непрямим параметром - навантаженням на валу гребкового пристрою, яке зв'язане прямою залежністю з густиною згущеної суспензії в нижній частині відстійника. Регулятор навантаження в цьому випадку послідовно впливає спочатку на виконавчий механізм на магістралі згущеної суспензії, а потім на привід підйому гребків. При перевантаженні приводу відбувається підйом скребкового пристрою, і навпаки.

Регулювання зміни витрати суспензії. В окремих випадках витрата початкової суспензії не залежить від попереднього технологічного процесу; тоді її можна змінювати, стабілізуючи мутність освітленої рідини, тобто зменшувати при збільшенні мутності вище заданого значення і збільшувати при її зменшенні (рис. 2.2).

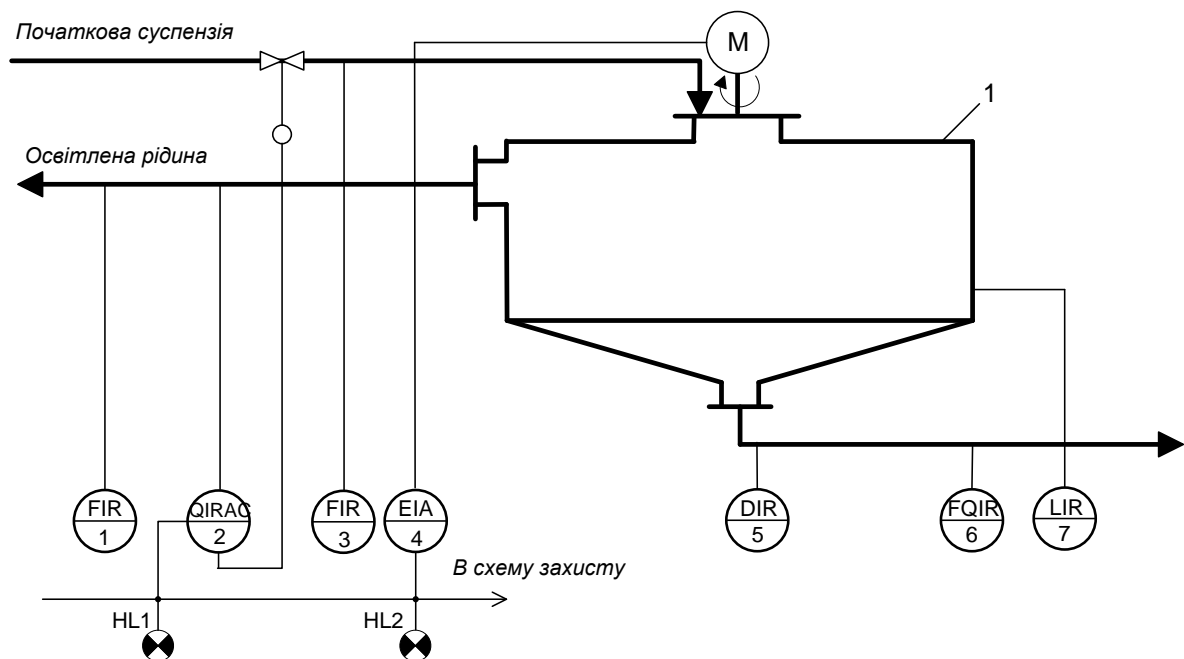


Рис.2.2. Схема регулювання витрати початкової суспензії з давачем мутності

1 – відстійник; 2 – регулятор мутності освітленої суспензії; E - споживана потужність приводу електродвигуна мішалки; Q – мутність рідини

За відсутності давача мутності витрату суспензії стабілізують, що приводить до ліквідації одного з найсильніших збурень (рис. 2.3).

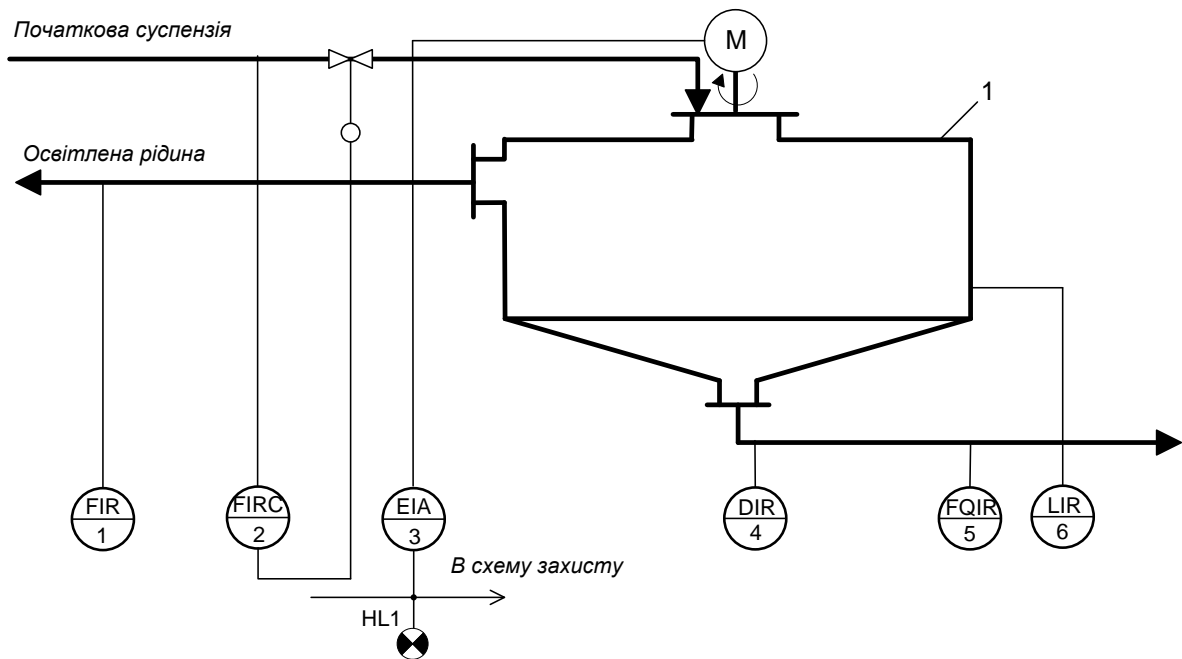


Рис.2.3. Схема регулювання витрати початкової суспензії без давача мутності:

1 – відстійник; 2 – регулятор витрати початкової суспензії; Е - споживана потужність приводу електродвигуна мішалки

Регулювання подачі коагулянта. Для кращого відстоювання деяких речовин в суспензію додають коагулянт - речовину, сприяючу коагуляції (укрупненню) твердої фази. Витрату коагулянта змінюють залежно від висоти межі розділу між зонами ущільнення і осадження або залежно від витрати початкової суспензії.

Управління процесом протитечійного відстоювання. У випадку якщо один відстійник не справляється з поставленим завданням, встановлюють декілька апаратів, сполучаючи їх по протитечійній схемі. Таку схему застосовують, наприклад, на калійних підприємствах. Ступінь вилучення твердої фази, що забезпечується всією схемою, багато в чому визначається роботою першого відстійника, тому для управління процесом відстоювання в ньому регулюють густину згущеної суспензії та висоту розділу зон (подачею коагулянта); контролюють витрату суспензії і мутність осаду. Вимоги до роботи наступних відстійників менш жорсткі, тому на них встановлені тільки регулятори густини згущеної суспензії, а витрата коагулянта змінюється вручну.



## 2.5. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта

Для регулювання процесу відстоювання використаємо схему регулювання за рівнем границі розділу зон осадження та ущільнення. Також застабілізуємо витрату початкової суспензії для ліквідації одного з найсильніших збурень. Вибрана схема регулювання підтримує потрібний показник ефективності процесу (концентрацію твердої фази в освітленій рідині) не тільки в стаціонарному режимі, але й при значних змінах навантаження та при виникненні порушень в самому технологічному процесі. Така схема забезпечує необхідні показники якості перехідного процесу та достатню стійкість системи (рис. 2.4).

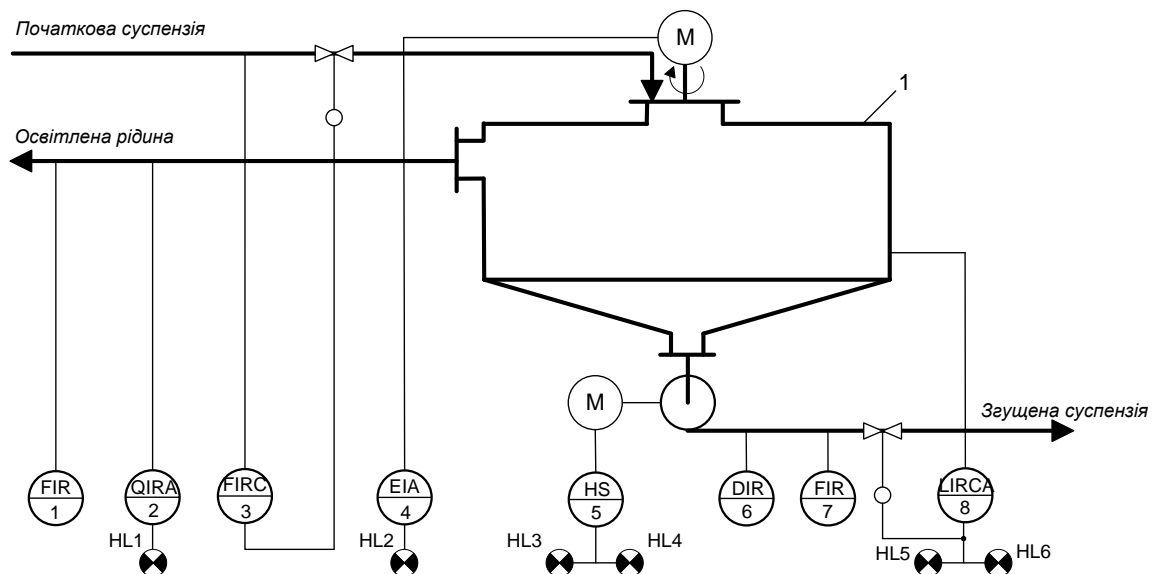


Рис.2.4. Спрощена функціональна схема автоматизації (ФСА) процесу відстоювання: 1 – відстійник; Q – мутність рідини; E - споживана потужність приводу електродвигуна мішалки; 3 – регулятор витрати початкової суспензії; 8 – регулятор рівня границі розділу зон осадження та ущільнення

## 2.6. Вибір технічних засобів автоматизації

*Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів*

Для вимірювання витрат початкової суспензії, освітленої рідини та згущеної суспензії використаємо вимірювальну систему, до складу якої входить давач витрати *SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100* і перетворювач сигналу

*MAG 5000*. В цій системі застосовується магнітно-індуктивний принцип вимірювання з пульсуючим постійним полем. Максимальна похибка вимірювання перетворювача *MAG 5000* разом із давачем складає 0,5% від вимірної величини витрати. Перетворювач має наступні вихідні сигнали: 1 струмовий (0(4)-20 мА) , 1 релейний, 1 цифровий. Живлення приладу здійснюється за допомогою: 11-24 В постійного/змінного струму, 115-230 В змінного струму. Перетворювач *MAG 5000* має також функцію індикації – 3-рядковий дисплей.

Для автоматизації процесу відстоювання у відстійнику потрібно підтримувати на постійному рівні границю розділу зон. Рівень границі розділу зон мірятимемо за допомогою хвилеводного радарного давача рівня та границі розділу зон *Rosemount моделі 3302* з діапазоном вимірювання від 0,1 до 20 м. Значення рівня границі розділу перетворюється в сигнал постійного струму 4-20 мА.

Давачі рівня *Rosemount 3300* побудовані на технології рефлектометрії з тимчасовим дозволом (TDR = Time Domain Reflectometry). Рівень вимірюється за допомогою мікрохвильового імпульсу малої потужності тривалістю в одну наносекунду, що направляється по зонду зануреному у продукт, рівень якого необхідно виміряти. Коли імпульс досягає поверхні середовища з іншою діелектричною проникністю, частина енергії відбивається назад до давача. Часовий інтервал між переданим (опорним) сигналом і відбитим імпульсом пропорційний відстані до поверхні продукту або поверхні розділу двох середовищ. Завдяки тому, що на імпульси, котрі посилає радар, практично не впливає дія вимірюваного продукту і газового середовища резервуару, температура і тиск, форма резервуару і устаткування, встановленого всередині резервуару, досягається висока точність вимірювань.

Всі прилади серії 3300 поставляються із зондами, довжина яких вказується користувачем при замовленні і корпусом електроніки, який розділений на два відсіки. Модульна конструкція приладу дозволяє зняти корпус давача, не витягуючи зонд з резервуару і, крім того, повернути в будь-яке зручне

положення для користувача. Вбудований дисплей відображає такі параметри як: рівень, відстань до поверхні, об'єм, внутрішня температура, відстань до поверхні розділу двох зон, рівень поверхні розділу двох зон, амплітуда піку, товщина шару, відсоток діапазону, вихідний струм давача. Живлення приладу поступає по сигнальному контуру (двохпровідному), 11-42 В.

Підключення приладу проводяться двопровідним кабелем. Для установки давача потрібне тільки одна врізання в резервуар.

Для вимірювання мутності освітленої рідини використаємо вимірювальну систему виробника Endress+Hauser, яка складається з давача мутності *CUS 31* та перетворювача *Liquisys CUM 223/253*. Принцип дії даної системи: метод розсіювання випромінювання з довжиною хвилі 880 нм (ближній ІЧ діапазон спектру) під кутом 90°, що відповідає ISO 7027 / EN 27027, гарантує вимірювання мутності по стандартизованій методиці порівняння. Промені, утворені джерелом ІЧ випромінювання, потрапляють у вимірювану рідину під певним кутом розкриття. Розрахунки базуються на відмінності показників віддзеркалення від частинок рідини (води) і вхідного віконця. Розсіяне на частинках рідини випромінювання потрапляє на приймач під певним кутом розкриття. Покази вимірювань неперервно порівнюються з показами опорного приймача. Цифровий фільтр забезпечує повне придушення інтерференції, а функція самоперевірки гарантує високу надійність вимірювань. Крім показів мутності вимірюється і контролюється значення температури.

Діапазон вимірювання давача *CUS 31*: 0.000 ... 9999 FNU, 0.00 ... 3000 ppm, 0.0 ... 3.0 г/л, 0.0 ... 200.0%.

Перетворювач *Liquisys CUM 223/253* має наступні особливості:

- здійснює контроль та реєстрацію граничної мутності і температури;
- вибір меж вимірювання ;
- оснащений ланцюгами аварійної сигналізації;
- 2 рядковий дисплей з можливостями вибору однієї з 6 мов;
- аналоговий, гальванічно розмежований вихід 4..20мА ;

- додатково: HART-інтерфейс або Profibus PA, другий аналоговий вихід, додаткові контакти вбудованого реле.

Для вимірювання споживаної потужності приводом електродвигуна мішалки відстійника використаємо вимірювальний перетворювач активної потужності трифазного струму типу E848/13-M1. Цей перетворювач призначений для лінійного перетворення активної потужності трьох- і однофазних, чотирьох- і трьохпровідних ланцюгів змінного струму в уніфікований вихідний сигнал постійного струму або напруги постійного струму.

Вимірювальний перетворювач *E848/13-M1* призначений для включення безпосередньо або через вимірювальні трансформатори струму і напруги.

Межі допустимої приведені основної похибки: +0,5%. Габаритні розміри-120x110x125мм.

Діапазон вимірювання перетворюваного вхідного сигналу:

- струм – 0-1 (0-0,5)А або 0-5 (0-2,5)А;
- напруга – 80-120 В;
- коефіцієнт потужності – 0-плюс 1-0.

Діапазон зміни вихідного сигналу: 4-20 мА.

Параметри живлення: від вимірювального ланцюга.

Для вимірювання густини згущеної суспензії використаємо густиномір погрузного типу *Solartron 7828*, який має електронний пристрій, що виконує повну обробку сигналів, розрахунок і діагностику безпосередньо в самому давачі. Діапазон вимірювання: 0-3000 кг/м<sup>3</sup>. Основна похибка вимірювання: 1кг/м<sup>3</sup>. Прямий аналоговий вихід 4-20мА. Живлення: 20- 28В постійного струму, 35-45мА.

В якості реєструючої та показуючої апаратури для значень витрат, рівня границі розділу зон, густини згущеної суспензії, мутності освітленої рідини використаємо 100 мм цифрові самописці фірми Honeywell типу *DPR 100B*. Ця модель представляє собою цифровий трьохканальний самописець з перами,

який має модульну будову (модулі встановлюються в головну монтажну панель). Основні характеристики приладу:

- ширина діаграми 100мм;
- точність по всій шкалі 0,25%;
- аналогова шкала з широкою можливістю вибору діапазонів і масштабів;
- повністю конфігурований універсальний вхід;
- робоча температура до 60 °С;
- компенсація зрушення пера;
- від 2 до 6 сигналізаційних виходів.

Діаграма самописця документується датою, часом, діапазоном, технологічними одиницями вимірювання, швидкістю руху діаграми, ідентифікатором, точками задання сигналізації та подіями. Самописець має енергонезалежну пам'ять. Швидкість діаграми: від 10 до 1500 мм/год. Прилад має універсальне джерело живлення: від 85 до 264 В змінного струму 50/60Гц, 24 або 48В змінного струму/постійного струму.

Для індикації та сигналізації споживаної потужності приводом електродвигуна мішалки відстійника використаємо універсальний цифровий індикатор *UDI 1700*. Цифровий індикатор має такі особливості:

- 1 універсальний вхід, точність  $0.1\% \pm 1$  цифра найменшого розряду;
- до п'яти сигналізацій і до 5 реле сигналізації;
- двохкольоровий екран (Червоний / Зелений);
- 1 дискретний вхід;
- протокол зв'язку RS485 Modbus;
- захист лицьової панелі NEMA 3 / IP65;
- розмір 1/8 DIN (горизонтальний);
- конфігурація без перемичок;
- легко модернізований;
- частота дискретизації: чотири рази в секунду;

- цифровий фільтр входу: 0.0 (Викл), від 0.5 до 100.0 секунд з кроком 0.5 с.

Конфігурація індикатора легко здійснюється за допомогою клавіатури і меню, з лицевої панелі.

Прилад має універсальне джерело живлення і вхід: працює при будь-якій напрузі в діапазоні від 90 до 264 В змінного струму, 50/60 Гц (без перемичок). Також можливе електроживлення 24/48 В. Всі плати (вихідне реле сигналізації, подвійне реле сигналізації і лінійний ретрансляційний вихід) не містять перемичок і після заміни (установки) автоматично визначаються індикатором. Великий (14 мм), цифровий (4 цифри) червоний світлодіодний дисплей індикатора UDI1700 дозволяє читати інформацію на великій відстані.

Доступні до 5 програмних сигналізацій з або без вихідного реле. Сигналізація може бути встановлена по високому або низькому значенні. Перша сигналізація може бути фіксована і у випадку спрацьовування вимагає скидання. UDI1700 також може зберігати значення часу, що пройшов з моменту активації першої сигналізації.

Блок ручного управління, завдання, індикації *БРУ-10* (фірми МІКРОЛ) може використовуватися в системах автоматизації в якості: багатфункціональної станції ручного управління аналоговими або імпульсними виконавчими механізмами; блоку ручного задавача аналогового сигналу; блоку ручного задавача імпульсних сигналів "більше"- "менше"; цифрового індикатора двох технологічних параметрів.

Складені вузли БРУ-10:

- 2 канали вимірювання аналогових величин;
- 2 задавача - аналоговий і імпульсний;
- панель індикації: 4-х розрядний цифровий і лінійний 21 сегментний індикатор;
- клавіші управління виконавчими механізмами, задавачами, програмування.

Шляхом конфігурації встановлюється один з семи режимів роботи приладу. Функціональні можливості:

- режими роботи ручний-автоматичний, індикація режиму роботи;
- статичне і динамічне балансування;
- індикація фізичної величини (параметр, положення механізму) на цифровому індикаторі, сигналізація мінімального і максимального значення на світлодіодних індикаторах;
- індикація сигналів більше-менше на світлодіодних індикаторах;
- ретрансмісія вхідного сигналу;
- програмне калібрування початку шкали і діапазону вимірювання двох аналогових входів і аналогового виходу;
- масштабування шкал вимірюваних параметрів в довільних технологічних одиницях;
- програмування методу лінійної індикації: сегмент, гістограма;
- вхідний цифровий фільтр аналогових входів;

#### Технічні характеристики БРУ-10:

- кількість каналів вимірювання: 2;
- період вимірювання: 0,25 с;
- вхідні сигнали: 0-5мА ( $R_{вх}=400 \text{ Ом}$ ), 0(4)-20 мА ( $R_{вх}=100 \text{ Ом}$ ), 0-10В ( $R_{вх}>50\text{кОм}$ );
- вихідні аналогові сигнали: 0-5 мА( $R_{н}2\text{кОм}$ ), 0-20 мА, 4-20 мА( $R_{н}500\text{Ом}$ ), 0-10В( $R_{н}>2 \text{ кОм}$ );
- максимальна похибки установки сигналу завдання:  $\pm 0,1\%$ ;
- діапазон зміни установки завдання: 0 - 100%;
- основна приведена похибка вимірювання:  $\pm 0,2\%$ ;
- точність індикації:  $< 0,1\%$  - цифрова  $< 5,0\%$  ( $< 2,5\%$ ) – лінійна;
- кількість розрядів цифрового індикатора: 4;
- температура навколишнього середовища: від  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;
- напруга живлення: від мережі змінного струму  $\sim(220\pm 22)\text{В}$ ,  $(50\pm 1) \text{ Гц}$ ;
- споживана потужність: не більше 6 Вт.

Для зміни ступенів відкриття регулюючих органів на лінії подачі початкової суспензії та на лінії згущеної суспензії використовуємо регулюючі клапани типу *25ч939нж*, які застосовують для рідких та газоподібних неагресивних середовищ. Внутрішня витратна характеристика лінійна. Керування клапаном здійснюється від електричного виконавчого механізму типу МЭО-16/10-0,25-82. Допустимий перепад тиску на клапані не більше 0,7 МПа. Температура навколишнього середовища від -15 до +50 °С. У виконавчому механізмі типу МЭО-16/10-0,25-82 застосовується однофазний конденсаторний двигун типу ДАУ або ДСР. Ці двигуни відрізняються малою інерційністю, високою надійністю і здатні довгостроково працювати на упор. Однофазне живлення двигуна напругою 220 В частотою 50 Гц спрощує електричну схему керування виконавчим механізмом.

Механізм типу *МЭО* розрахований на безконтактне керування за допомогою реверсивного тиристорного пускача типу ПБР-2М. Живлення пускача здійснюється однофазною мережею змінного струму з напругою 220 В і частотою 50 Гц. Максимально комутується струм 4 А. Споживана потужність 10 ВА. Вхідний сигнал постійного струму  $24 \pm 6$  В; вхідний опір пускача не менше 750 Ом. Пристрій призначений для роботи при температурі навколишнього середовища 5-50 °С і відносній вологості 80%.

В якості показників положення виконавчих механізмів МЭО використовуємо блок сигналізації положення *БСПТ-10М*. Він призначений для перетворення положення вихідного органу в пропорційний електричний сигнал і сигналізації чи блокування у крайніх чи проміжних положеннях вихідного органа. До складу блоку БСПТ-10М входить блок давача БД-10М та блок живлення БП-20.

Для здійснення технологічного захисту (припинення подачі початкової суспензії шляхом закриття регулюючого органу на цій лінії) на лінії подачі початкової суспензії встановимо швидкодіючий електромагнітний відсічний клапан з дистанційним керуванням типу *КО 500*. Клапан призначений для автоматичного перекриття робочого середовища при порушенні технологічних



параметрів в системі. Умовний прохід: 500 мм. Конструктивні розміри клапана: 1110мм x 1220мм.

Для дистанційного керування пуском та зупинкою приводу електродвигуна насосу використовується контактор типу *КМИ* з електротепловим реле в захисній оболонці. КМИ являється комплектним пристроєм, який складається з малогабаритного контактора КТИ, теплового реле РТИ, оболонки з сальниками і кнопок керування. Номінальний робочий струм 9-95 А. Номінальна робоча напруга 400 В змінного струму. Напруга котушки керування 230 або 400 В змінного струму.

Керування контактором здійснюється кнопкою типу *APBB-22N*, яка має світлосигнальну індикацію. Кнопка призначена для оперативного керування контакторами і реле автоматики в електричних колах змінного струму частотою 50 Гц, напругою до 660 В чи постійного струму напругою до 400 В. Кнопка складається з двох вузлів – головки, що швидко знімається, та контактного модуля. Для запобігання потрапляння рідини всередину механізму вона укомплектована гумовими кільцями. Під'єднання провідників до кнопки виконують гвинтовими затискачами з тарільчатими шайбами.

#### *Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації*

Мікропроцесорний контролер Реміконт Р-130 є програмно-технічним виробом. Для роботи з ним не потрібен кваліфікований програміст. Потрібні алгоритми добуваються з бібліотеки шляхом натискування декількох клавіш. Потім алгоритми об'єднуються в систему заданої конфігурації і в них встановлюються необхідні параметри настроювання.

Цей контролер може обслуговувати до 32 входів/виходів (аналогових входів може бути 16, а виходів – 4). Кількість входів/виходів визначається типом ПЗО (пристрою зв'язку з об'єктом). Р-130 має два ПЗО: гр.А і гр.Б.

Реміконт Р-130 - це комплекс технічних засобів. Складається він з окремих конструктивно автономних і функціонально закінчених блоків: центрального блока контролера БК-21 і блоків, що доповнюють центральний блок контролера.

Центральний блок перетворює аналогову і дискретну інформацію в цифрову форму, веде обробку цифрової інформації, виробляє керуючу дію.

Додаткові блоки використовуються для попереднього підсилення сигналів термоелектричних перетворювачів і термоперетворювачів опору, формують дискретні вихідні сигнали для комутації високих напруг, створюють зовнішні переключення і блокування і т. п..

Реміконт Р-130 це проектно-компонований виріб. Його склад, ряд параметрів визначає споживач. В контролер вбудовані засоби самодіагностування, сигналізації і ідентифікації несправностей.

Центральний блок контролер має три моделі:

- \* БК - 21 - регулююча;
- \* БК - 22 - логічна;
- \* БК - 23 - неперервно-дискретна.

В комплекті з ними можуть використовуватися звичайні давачі і виконавчі механізми, які під'єднуються за допомогою індивідуальних кабельних з'єднань.

Без додаткових пристроїв Реміконт Р-130 (як однакові, так і різні моделі контролерів) можуть об'єднуватися в локальну керуючу мережу Т р а н з и т кільцевої конфігурації за допомогою інтерфейсного каналу послідовного зв'язку. По витій парі дротів контролери можуть обмінюватися інформацією в цифровій формі. З зовнішнім абонентом мережа Т р а н з и т може взаємодіяти за допомогою шлюзу, який входить в склад Реміконт Р-130.

Регулююча модель БК-21 реалізує такі функції:

1. ручне встановлення або автоматична корекція параметрів настроювання алгоритмів керування;
2. безударна зміна режимів керування (завдання автоматично встановлюється рівним значенню вхідного сигналу, потім плавно завдання міняється до заданого значення);
3. безударне ввімкнення/вимкнення, перемикання і конфігурація контурів регулювання (змінні, що не зображаються на панелі, блокуються);

4. вибіркоче операторне керування і контроль за контурами регулювання за допомогою 12-ти клавіш і двох чотирьохрозрядних індикаторів;
5. запис алгоритмів користувача в перепрограмований ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій) з можливістю ультрафіолетового стирання;
6. самодіагностика та індикація несправностей.

Структурну схему Р-130 можна зобразити наступним чином:

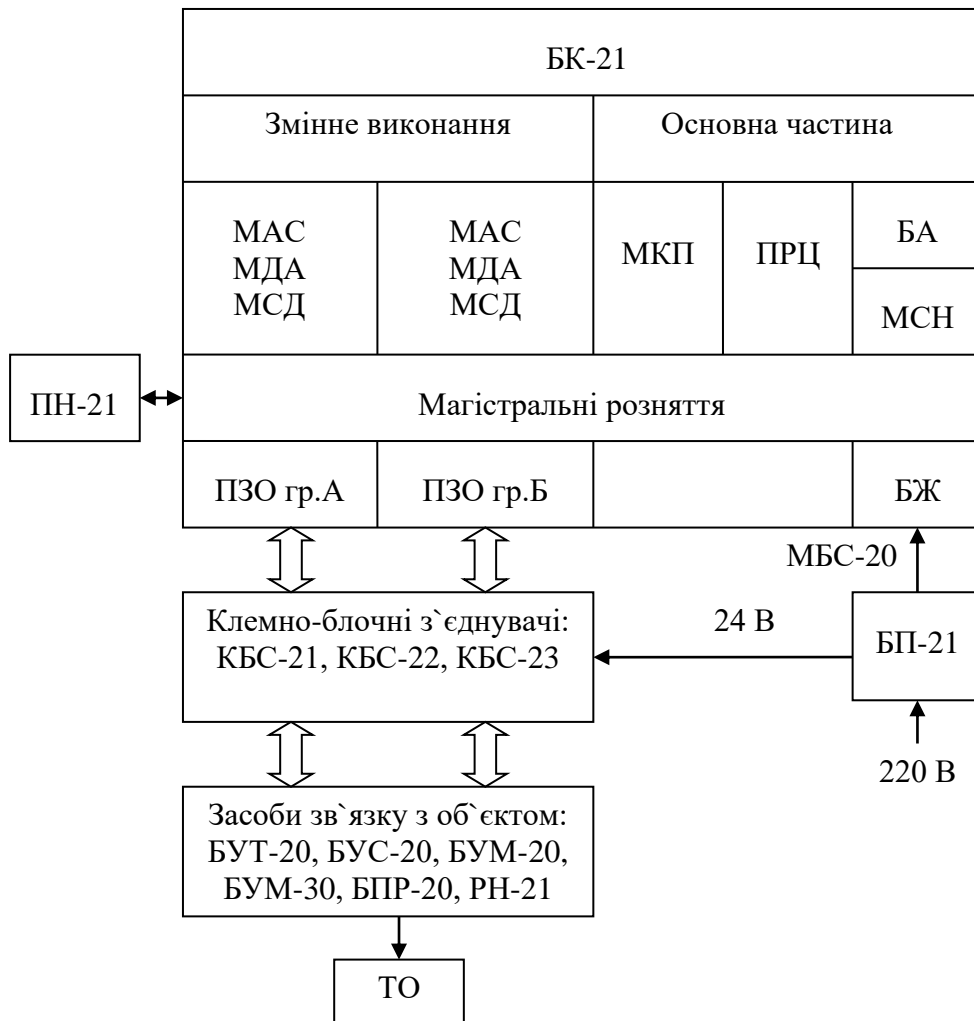


Рис.2.5. Структурна схема мікроконтролера Реміконт Р-130

ПРЦ – модуль процесора, що напряму зв'язаний з акумуляторною батареєю БА для підтримки оперативної пам'яті;

МКП – модуль контролю і програмування;

МСН – модуль стабілізованої напруги, що забезпечує живленням контролер і пульт налагодження ПН-21;

БЖ – блок живлення;

МАС – модуль аналогових сигналів;

МДА – модуль аналогових та дискретних сигналів;

МСД – модуль дискретних сигналів;

ТО – технологічний об'єкт.

### Функціональні можливості РЕМІКОНТа Р - 130

В мікропроцесорних контролерах існує таке поняття, як віртуальна структура (неявна). Вона дозволяє абстрагувати від поняття фізичної структури. Вона описує інформаційну організацію контролера і представляє властивості контролера як ланки системи керування. В Реміконті Р-130 частина віртуальної структури реалізована апаратно, а частина - програмно.

Віртуальна структура контролера містить:

1. алгоблоки;
2. бібліотеку алгоритмів;
3. засоби інтерфейсного каналу;
4. засоби настройки і контролю;
5. засоби вводу-виводу інформації.

### Алгоблоки

Алгоблок є базовим елементом віртуальної структури Реміконтів. Алгоблок - пустий (тобто без алгоритму), ніяких функцій по обробці сигналів контролер не виконує. Контролер запрацює тільки тоді, коли в алгоблок в процесі технологічного програмування буде записаний який-небудь алгоритм з бібліотеки алгоритмів. В кожний алгоблок можна внести тільки один алгоритм з бібліотеки алгоритмів, яка відноситься до даної моделі контролера.

### Бібліотека алгоритмів

Бібліотека алгоритмів - це перелік алгоритмів керування, які в процесі настройки контролера заносяться в алгоблоки. Алгоритми дозволяють вирішувати задачі автоматичного регулювання, задачі логіко-програмного керування, виконують статичні, математичні, логічні і аналого-дискретні перетворення сигналів.

Алгоритм складається з функціонального ядра і має свої входи і виходи. Алгоритм має дві групи входів: сигнальні, які виконують функцію алгоритма, і настроювальні, які керують параметрами настройки. Ці входи - рівноправні, т.б. мають однакові можливості конфігурування. Вихід - це результат обробки вхідних сигналів. Кожний вид алгоритму може мати свою кількість входів і виходів, але максимальне число входів - 99, а виходів - 24. Входи, як сигнальні, так і настроювальні мають нумерацію від 01 до 99, а виходи від 01 до 24.

Входи алгоритму можуть бути явними (ті які довільно конфігуруються) і деякі алгоритми (алгоритми вводу-виводу, прийома-передачі, оперативного керування) мають неявні входи-виходи (спеціального призначення, які не конфігуруються, а автоматично з'єднуються з апаратурою, яку має обслуговувати даний алгоритм).

Кожний алгоритм має свій бібліотечний номер, під яким він зберігається в бібліотеці. Алгоритм викликається з бібліотеки за двохзначним десятковим кодом. Алгоблок з алгоритмом під кодом 00 не має входів виходів, не виконує деякої роботи і не впливає на роботу алгоблоків, але в ОЗП займає місце і вимагає невеликого часу на обслуговування.

Алгоритм може мати модифікатор, який задає додаткові властивості алгоритму. Модифікатор задає число одностипних операцій, які виконує один алгоритм. Може задавати набір певних параметрів. Деякі алгоритми модифікатора не мають.

Ті алгоритми, робота яких зв'язана з часом, мають масштаб часу (регулювання, програмований задавач, таймер і т.п.). І модифікатор, і масштаб часу розширюють можливості алгоритмів. Деякі алгоритми з однаковим номером, але розміщені в різні алгоблоки можуть мати свій модифікатор і масштаб часу.

В довільний алгоблок можна розмістити довільний алгоритм, якій входить в бібліотеку алгоритмів. Алгоритм можна використовувати багаторазово, тобто помістити його в декілька алгоблоків. Алгоритми ОКО і ОКЛ розміщуються лише в перші чотири алгоблоки.

Вся бібліотека алгоритмів розділена на 9 груп.

Алгоритми лицьової панелі, включають 4 алгоритма;

Алгоритми вводу-виводу, включають 13 алгоритмів;

Алгоритми регулювання, включають 9 алгоритмів;

Динамічні перетворення, включають 7 алгоритмів;

Статичні перетворення, включають 14 алгоритмів;

Аналогово-дискретні перетворення, включають 11 алгоритмів;

Логічні операції, включає 10 алгоритмів;

Дискретне керування, включає 13 алгоритмів;

Групове неперервно-дискретне керування, включає 6 алгоритмів.

При конфігурації Реміонта Р-130 вибирається алгоблок. Для його входів призначаються джерела сигналів (лише явні входи, неявні входи мають постійну приписку і не конфігуруються). Сигнальні і настроювальні входи конфігуруються однаково.

На основі розробленої функціональної схеми автоматизації процесу відстоювання та вибраних первинних перетворювачів вибираємо регулюючу модель мікропроцесорного контролера *РЕМІКОНТ Р-130* типу *БК-21-25*. Тобто, ПЗО гр.А контролера є 2-го типу (модуль аналогово-дискретний МДА - має 8 аналогових входів і 4 дискретних виходи), а ПЗО гр.Б контролера є 5-го типу (модуль дискретних сигналів МДС - має 8 дискретних входів і 8 дискретних виходів).

#### *Програмне забезпечення системи керування*

Від вимірювальних перетворювачів аналогові сигнали витрати початкової суспензії, рівня границі розділу зон, мутності освітленої рідини та споживаної потужності приводу електродвигуна мішалки поступають на вхід алгоритму ВАА. На вхід ВАА заводяться також сигнали від давачів положення БСПТ-10 виконавчих механізмів типу МЭО для імпульсного регулювання та сигнал від кнопки керування насосом мулової суспензії.

ВАА (07) – вхід аналоговий гр.А. Цей алгоритм застосовується для зв'язку функціональних алгоритмів з аналоговими засобами вводу (АЦП). Може

обслуговувати до 8 аналогових входів та дозволяє коректувати аналоговий сигнал в точках 0 і 100 %.

Програма функціонування контролера Р-130 повинна реалізовувати наступні контури:

1. *Контур регулювання витрати початкової суспензії.* Для реалізації цього контуру застосуємо алгоритм регулювання РІМ. РІМ (21) – регулювання імпульсне, застосовується для побудови ПІД-регулятора, який працює з виконавчим механізмом постійної швидкості. Крім цього в алгоритмі обчислюється сигнал розузгодження, цей сигнал фільтрується, вводиться зона нечутливості. Алгоритм має два виходи: основний вихід алгоритму  $Y$  та відфільтрований сигнал розузгодження  $Y_{\epsilon}$ .

На вхід  $X_2$  алгоритму РІМ поступає вихідний сигнал  $Y_1$  алгоритму ВАА (оброблений сигнал витрати початкової суспензії), на вхід  $X_1$  - сигнал завдання  $Y_{здн}$  алгоритму ЗДН. ЗДН (24) – алгоритм завдання, який застосовується для формування сигналу ручного завдання в контурі регулювання. З його допомогою здійснюється під'єднання програмних задавачів і сигналу від зовнішнього задавача. Значення модифікатора алгоритму залежить від кількості приєднаних програмних задавачів (00 – ручний задавач).

Основний вихід  $Y$  алгоритму РІМ поступає на вхід алгоритму РУЧ. РУЧ (26) – ручний режим; застосовується разом з алгоритмом ОКО і дозволяє переводити контур регулювання в ручний режим керування. Також через цей алгоритм здійснюється дистанційне керування.

Вихідний сигнал алгоритму РУЧ поступає на вхід  $X_1$  алгоритму ІВА. ІВА (15) - імпульсний вихід гр.А. Цей алгоритм застосовується у випадках, якщо контролер має працювати разом з виконавчим механізмом з постійною швидкістю обертання. Алгоритм перетворює сигнал, сформований алгоритмом РІМ в послідовність імпульсів зі змінною шпаруватістю. Алгоритм складається з ШІМ-модулів, кількість яких залежить від модифікатора. Максимальна кількість входів – 4. Послідовність імпульсів з виходу ІВА прямує на виконавчий механізм типу МЭО.

Вихідні сигнали  $Y_1$  та  $Y_2$  (оброблений сигнал від давача положення виконавчого механізму) алгоритму ВАА, сигнал завдання  $Y_{ЗДН}$  алгоритму ЗДН, вихідний сигнал алгоритму РУЧ та сигнал розузгодження  $Y_{\epsilon}$  поступають на входи  $X_{ВХ}$ ,  $X_{ВР}$ ,  $X_{ЗДН}$ ,  $X_{РУЧ}$  та  $X_{\epsilon}$  алгоритму ОКО відповідно. ОКО (01) – оперативний контроль керування. Застосовується в тому випадку, якщо є необхідність керування контурами регулювання з передньої панелі контролера. Він може бути застосований лише 4 рази, при чому кількість його застосувань залежить від кількості реалізованих контурів регулювання. Алгоритм завжди записується в перших 4 алгоблоки і номер алгоблоку буде визначати номер контуру регулювання. Алгоритм реалізує зв'язок віртуальної структури контролера з місцевою панеллю та її елементами. ОКО має 16 модифікаторів, які визначаються типом регулятора, типом вихідного сигналу, наявністю зовнішнього завдання та наявністю дистанційного керування.

2. Контур регулювання та сигналізації рівня границі розділу зон осадження та ущільнення. Регулювання в цьому контурі здійснюється аналогічно до попереднього контуру, але вихідний сигнал алгоритму РУЧ поступає на вхід  $X_1$  алгоритму ІВБ. ІВБ (16) - імпульсний вихід гр.Б.

Для реалізації контуру сигналізації нижньої та верхньої допустимих меж відхилення рівня границі розділу зон вихідний сигнал  $Y_3$  алгоритму ВАА (оброблений сигнал рівня границі розділу зон) подається на вхід  $X_{1,1}$  алгоритму НОР. НОР (60) – нуль-орган; застосовується для контролю за сигналом або різницею двох сигналів за допомогою обмеження сигналів «справа» та «зліва». Алгоритм складається з декількох однакових ланок, кількість яких залежить від модифікатора (максимальна кількість 10).

Вихідні сигнали алгоритму НОР поступають на вхід алгоритму ДВБ. ДВБ (14) - дискретний вихід гр.Б; застосовується для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами дискретного виводу (ЦДП). Максимальна кількість дискретних виходів – 16.

3. Контур сигналізації та захисту мутності освітленої рідини. Для реалізації контуру сигналізації верхньої допустимої межі відхилення мутності



освітленої рідини вихідний сигнал  $Y_5$  алгоритму ВАА (оброблений сигнал мутності освітленої рідини) подається на вхід  $X_{1,2}$  алгоритму НОР. А вихідний сигнал алгоритму НОР поступає на входи алгоритмів ДВБ та ДВА. ДВА (13) - дискретний вихід гр.А; застосовується для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами дискретного виводу (ЦДП). Максимальна кількість дискретних виходів – 16.

4. Контур сигналізації споживаної потужності приводу електродвигуна мішалки. Для реалізації контуру сигналізації верхньої допустимої межі відхилення споживаної потужності вихідний сигнал  $Y_6$  алгоритму ВАА (оброблений сигнал споживаної потужності) подається на вхід  $X_{1,3}$  алгоритму НОР. А вихідний сигнал алгоритму НОР поступає на вхід алгоритму ДВБ.

5. Контур сигналізації режимів роботи насосу мулової суспензії. Для реалізації контуру сигналізації режимів роботи насосу (Вкл./Відкл.) вихідний сигнал  $Y_7$  алгоритму ВАА (оброблений сигнал від кнопки керування насосом) подається на вхід  $X_{1,4}$  алгоритму НОР. А вихідні сигнали алгоритму НОР поступають на вхід алгоритму ДВБ.

Дискретні сигнали з виходів алгоритму ДВБ поступають на сигнальні лампи для реалізації світлової сигналізації. А дискретний сигнал з виходу алгоритму ДВА поступає на виконавчий механізм для реалізації захисту.

### 3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

#### 3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів

Математичну модель об'єкта регулювання (ОР) для розрахунків оптимальних параметрів настройки регулятора знаходимо у вигляді функції передачі.

Вхідною величиною даного об'єкту регулювання (відстійника) є витрата згущеної суспензії, а вихідною – рівень границі розділу зон осадження та ущільнення.

Враховуючи структурну схему взаємозв'язків між технологічними параметрами об'єкта, матеріальний баланс, експериментальні дані та інформацію з навчальної літератури побудуємо математичну модель відстійника у вигляді функції передачі. Її можна представити як послідовне з'єднання інтегруючої ланки та ланки запізнення, тобто обрана модель матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{v_i}{p} e^{-p\tau},$$

де  $v_i$  - швидкість розгону інтегруючої ланки;

$\tau$  - час запізнення.

На основі аналітичних залежностей для визначення параметрів математичної моделі та знаючи геометричні розміри об'єкта, значення технологічних параметрів об'єкта, матеріальні та енергетичні потоки визначимо основні параметри математичної моделі об'єкта:

- час запізнення ланки запізнення приймемо рівним 10 с:

$$\tau = 10 \text{ с.}$$

- швидкість розгону інтегруючої ланки:

$$v_i = 0,0005 \left( \frac{\text{мм}}{\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \cdot \text{с}} \right),$$

- сталу часу інтегруючої ланки визначаємо за наступною формулою:

$$T_i = \frac{1}{v_i} = \frac{1}{0,0005} = 2000 \left( \frac{\frac{M^3 \cdot c}{200d}}{mm} \right)$$

Отже, функція передачі буде наступною:

$$W(p) = \frac{0,0005}{p} \cdot e^{-10p}$$

Крива розгону відстійника при одиничному стрибкоподібному збуренні має вигляд, зображений на рис. 3.1.

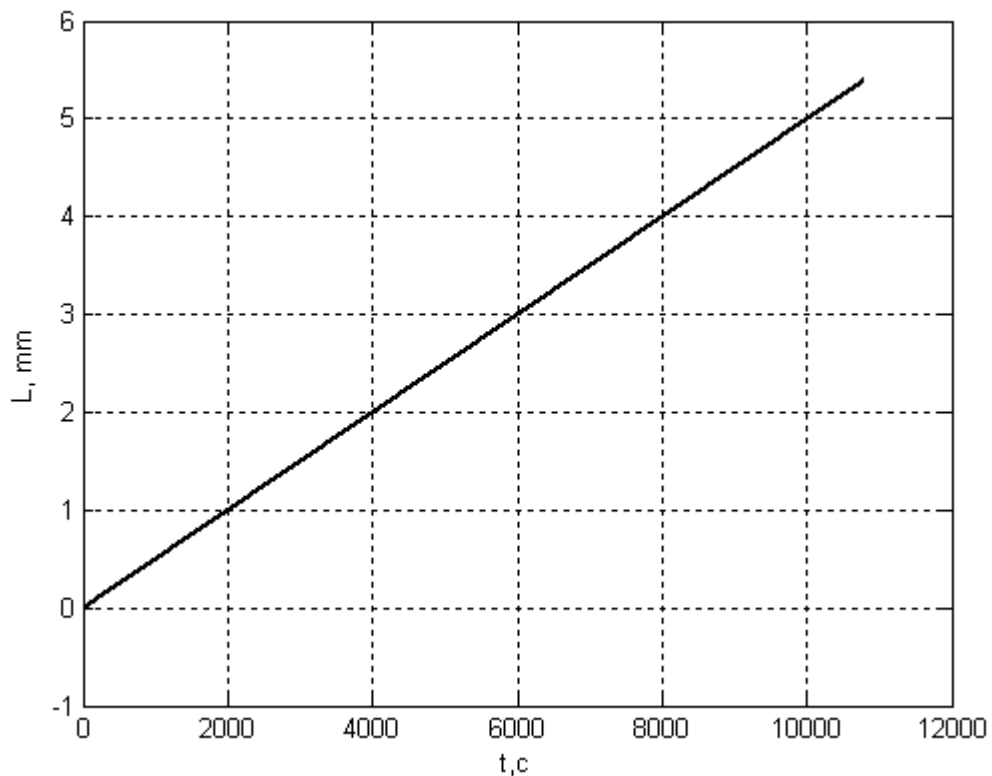


Рис.3.1. Крива розгону відстійника при одиничному стрибкоподібному збуренні

При зміні витрати згущеної суспензії рівень границі розділу зон осадження та ущільнення змінюється з невеликим запізненням і не досягає нового усталеного значення, так як відстійник є об'єктом регулювання без самовирівнювання. Закон зміни рівня границі розділу зон в часі при нанесенні

збурення характеризує динамічні властивості відстійника. Динамічні властивості відстійника залежать, головним чином, від його конструктивних розмірів і витрати початкової суспензії. Чим більший об'єм відстійника і чим менша витрата початкової суспензії, тим гірші його динамічні властивості.

### **3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання**

Система автоматичного регулювання (САР) повинна забезпечувати стійкість та якісні показники процесу регулювання. Якість процесу регулювання для стабілізуючих САР зазвичай оцінюють по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного збурення. Основними показниками якості є: час регулювання, перерегулювання, коливальність і похибка регулювання.

Крім цього, слід відмітити, що в конкретних умовах до якості регулювання можуть висуватися й інші вимоги, наприклад, максимальна швидкість зміни значення величини, яка регулюється, основна частота її коливань і т. д.

*Часом регулювання* називається час, на протязі якого, починаючи з моменту нанесення збурення на систему, відхилення значень величини, яка регулюється, від її сталого значення буде менше наперед заданого значення. Таким чином, час регулювання визначає тривалість перехідного процесу.

*Перерегулювання* - це максимальне відхилення значення величини, що регулюється, від значення яке встановилося, виражене у відсотках.

*Колівальність системи* характеризується кількістю коливань параметра, який регулюється, за час регулювання.

*Точність регулювання* визначається як різниця між значенням регульованої величини, яке встановилось після закінчення перехідного процесу, і її заданим значенням.

В даній роботі якість регулювання оцінюється за допомогою таких критеріїв:

1. Час регулювання  $t_p$ .

2. Максимальне динамічне відхилення  $A_{\max}$  – максимальна амплітуда перехідного процесу.
3. Коефіцієнт зникання коливань  $\psi$  – відношення різниці двох сусідніх амплітуд одного знаку кривої перехідного процесу до найбільшої з них :  $\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}$ .
4. Точність регулювання  $\Delta$ .
5. Виходячи з технологічних умов час регулювання для такого об'єкту приймають рівним  $t_p=250$  с. Максимальне динамічне відхилення  $A_1=5$  мм. Коефіцієнт зникання коливань  $\psi =0.8$ . Точність регулювання  $\Delta=0$  мм. Ступінь коливальності  $m = 0.34$ .

### 3.3. Визначення закону регулювання

Доцільність застосування того чи іншого закону регулювання для конкретного об'єкта повинна визначатися за результатами вивчення його динамічних властивостей.

Для даного об'єкта не можливе використання І – регулятора, оскільки відстійник є об'єктом без самовирівнювання.

В даному випадку побудуємо одноконтурну САР рівня границі розділу зон з функцією передачі об'єкту регулювання  $W(p) = \frac{0.0005}{p} \cdot e^{-10p}$  у прямому зв'язку і з автоматичним ІІІ-регулятором у зворотному зв'язку. Функція передачі ІІІ-регулятора має вигляд:

$$W(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right).$$

ІІІ-регулятори відрізняються простотою конструкції і дають регулювати велику кількість технологічних об'єктів. Тому вони отримали велике поширення на практиці. Така структура забезпечує якісне регулювання рівня границі розділу за рахунок швидкої реакції регулятора на всі типи збурень, які надходять в об'єкт регулювання.

### 3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора

Значення параметрів настроювання регулятора наближено можуть бути знайдені за спрощеною методикою, яка ґрунтується на припущенні про можливість описання об'єктів регулювання через функції передачі типу: аперіодична ланка першого порядку, інтегруюча ланка, диференційна ланка, ланка запізнення та інші. Зрозуміло, що ця методика не може бути застосована для об'єктів, які не описуються функціями передачі цих ланок. Тому для знаходження оптимальних значень параметрів настроювання регулятора необхідно застосувати спеціально розроблені теоретично обґрунтовані методи: метод розширених частотних характеристик, метод розрахунку параметрів за показником коливальності  $M$ . Для розрахунку САР, яка знаходиться під дією випадкових процесів, застосовують дисперсійний метод.

Розрахунок оптимальних параметрів настроювання за методом розширених частотних характеристик базується на амплітудо-фазовому критерії стійкості, який можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості, якщо замість звичайних частотних характеристик застосувати розширені частотні характеристики.

Розширена частотна характеристика елемента з відомою функцією передачі визначаються заміною в ній оператора Лапласа

$$p = -mw \pm iw,$$

де  $w$  – кругова частота;  $m = \alpha / w$  - степінь коливальності, який характеризує запас стійкості;  $\alpha$  – абсолютне значення дійсної частини комплексного кореня характеристичного рівняння.

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

$$W_{pc}(m, iw) = W_{op}(m, iw)W_p(m, iw) = -1 \quad (3.1)$$

де  $W_{op}(m, i\omega)$  - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання,  $W_p(m, i\omega)$  - розширена АФХ регулятора. Для спрощення запису позначимо  $U(m, \omega) = U$ ,  $V(m, \omega) = V$ .

*Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора.*

В якості регулятора вибираю ПІ-регулятор. Розширена АФХ ПІ-регулятора записується у вигляді

$$W_p(m, i\omega) = \kappa_p + \frac{\kappa_p}{T_{i3}} \frac{1}{(-m\omega \pm i\omega)}. \quad (3.2)$$

Підставляючи (3.2) в (3.1) одержимо

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

або

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

звідки отримуємо систему двох рівнянь з двома невідомими  $\kappa_p$  і  $\frac{\kappa_p}{T_{i3}}$

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

Розв'яжемо отриману систему рівнянь відносно  $\kappa_p$  і  $\frac{\kappa_p}{T_{i3}}$

$$\begin{cases} \frac{\kappa_p}{T_{i3}} = -\omega(m^2 + 1) \frac{V}{U^2 + V^2} \\ \kappa_p = -\frac{U + mV}{U^2 + V^2} \end{cases}. \quad (3.3)$$

Розширена АФХ об'єкта регулювання в показниковій формі має вигляд

$$W_{op}(m, i\omega) = A_{op}(m, \omega) e^{i\varphi_{op}(m, \omega)} = A_{op}(m, \omega) \cos \varphi_{op}(m, \omega) + iA_{op}(m, \omega) \sin \varphi_{op}(m, \omega),$$

де  $A_{op}(m, \omega)$ ,  $\varphi_{op}(m, \omega)$  – розширені амплітудно- і фазочастотні характеристики об'єкта регулювання. Враховуючи, що дійсна  $U$  і уявна  $V$  розширені частотні характеристики визначаються як

$U = A_{op}(m, \omega) \cos \varphi_{op}(m, \omega)$ ,  $V = A_{op}(m, \omega) \sin \varphi_{op}(m, \omega)$  система (3.3) набуде вигляду

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \\ k_p = \frac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)} \end{cases} \quad (3.4)$$

Змінюючи частоту в діапазоні  $\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}$  ( $\omega^*$  – частота, що відповідає параметру настроювання І-регулятора;  $\omega^{**}$  – частота, що відповідає параметру настроювання ІІ-регулятора) розраховують область параметрів настроювання ІІІ-регулятора на задану ступінь коливальності  $m_{зад}$ . Аналітично частоти  $\omega^*$  і  $\omega^{**}$  можна визначити з рівнянь

$$\varphi_{op}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \arctg m; \quad \varphi_{op}(m, \omega^{**}) = -\pi.$$

Графічно границя області заданого запасу стійкості представлена на рис.4.4.1.

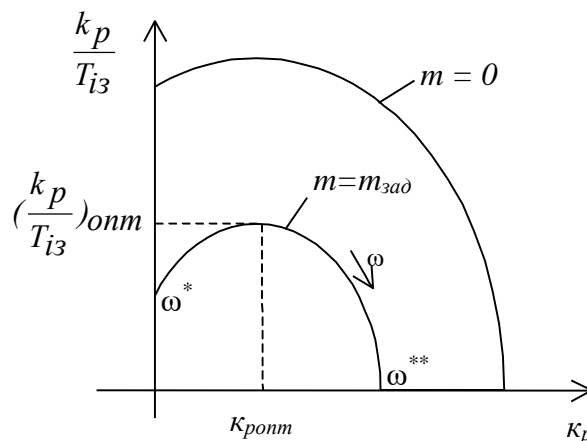


Рис. 3.2. Границя області заданого запасу

На цьому ж графіку показана область параметрів настроювання регулятора, що виводять САР на границю стійкості ( $m=0$ ). Якщо вважати, що діючі в САР збурення є низькочастотними (зокрема детерміноване збурення у вигляді стрибка є низькочастотним), то оптимальні параметри настроювання



розраховують при частоті  $\omega_0$ , при якій  $\frac{\kappa p}{T_{i3}} = (\frac{\kappa p}{T_{i3}})_{max}$ . Для випадкових збурень вибирають параметри настроювання з границі області запасу стійкості на робочій частоті  $\omega_p = 1.2\omega_0$ . Вважається, що таким чином визначені параметри, наближено забезпечують мінімальне значення інтегральної квадратичної оцінки якості  $J_2$

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{зад}(t)]^2 dt \quad (3.5)$$

де  $y(t)$  - крива розгону замкнутої САР;  $y_{зад}$  - задане значення регульованої величини.

Для точного визначення оптимальних параметрів настроювання регулятора необхідно розрахувати значення  $J_2$  за рівнянням (3.5) при різних значеннях параметрів настроювання регулятора зі знайденої області заданого запасу стійкості. і знайти таку пару значень  $k_{ропт}, (\frac{\kappa p}{T_{i3}})_{опт}$ , при якій  $J_2$  набуде найменшого значення. Таким чином, оптимальними параметрами настроювання регулятора є такі, що при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки якості.

За розширеними частотними характеристиками знаходимо частоти  $\omega^*$  і  $\omega^{**}$ , які відповідають параметрам настроювання І- та ІІ-регуляторів відповідно.

*Програма pi\_wgraf.m для знаходження значень  $\omega^*$  та  $\omega^{**}$ :*

```
m=0.34;
w=[0.0001:0.01:1.57];
p=-m*w+i*w;
W1=0.0005./p;
W2=exp(-10*p);
W=W1.*W2;
fi=phase(W);
l1=-pi/2+atan(m);
```

```
l2=-pi;
plot(w,fi,w,l1,w,l2); grid; xlabel('w, rad/sec');
ylabel('y, rad');
```

Результатом виконання програми є графік розширеної фазочастотної характеристики відстійника, зображений на рис. 3.3.

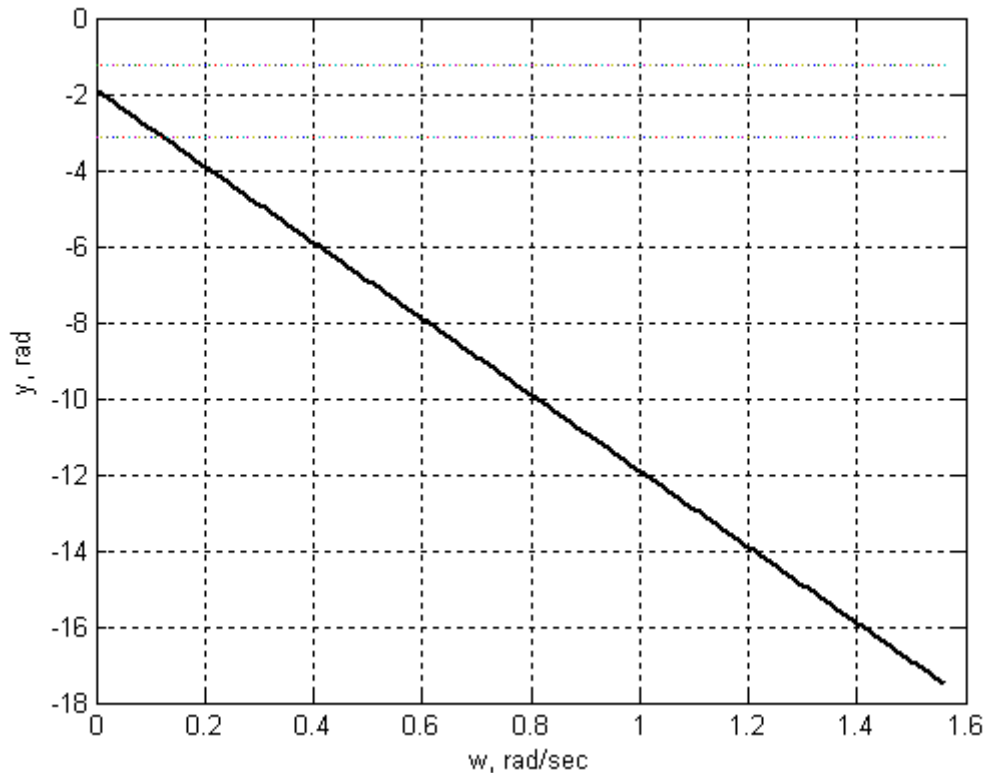


Рис. 3.3. Розширена фазочастотна характеристика відстійника

З графіка визначено, що  $\omega^* = 0.001 \left( \frac{\text{rad}}{\text{c}} \right)$ ,  $\omega^{**} = 0.1243 \left( \frac{\text{rad}}{\text{c}} \right)$ .

Для побудови границі області заданого запасу стійкості була написана програма **zap\_st.m**:

```
m=0.34;
w=[0.001:0.001:0.1243];
p=-m*w+i*w;
W1=0.0005./p;
W2=exp(-10*p);
W=W1.*W2;
A=abs(W); fi=phase(W);
```

```

kT=-w*(m^2+1).*sin(fi)./A;
k=(-cos(fi)-m.*sin(fi))./A;
plot(k,kT); grid;
xlabel('Kp'); ylabel('Kp/Tiz');
[kT_rozr,s]=max(kT)
k_rozr=k(s)

```

Результатом виконання даної програми є границя області заданого запасу стійкості (рис. 3.4).

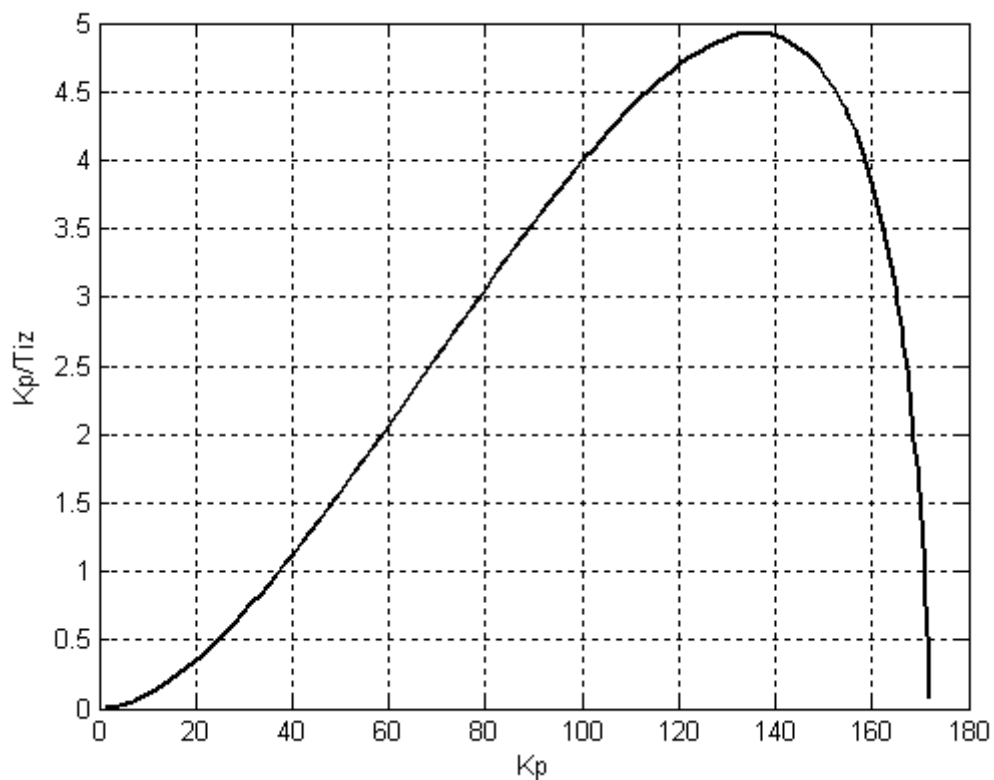


Рис. 3.4. Границя області заданого запасу стійкості

Оптимальні параметри настроювання вибираємо в точці, де  $K_p/T_{iz}$  є максимальним. Отже, параметри настроювання ПІ-регулятора наступні:

$$K_p=136.4601; K_p/T_{iz} = 4.9266.$$

Отже, функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_p(p) = 136.4601 + \frac{4.9266}{p}$$

За отриманими параметрами настройки ПІ-регулятора будемо будувати перехідний процес.

### 3.5. Побудова перехідного процесу розрахованої САР

Перехідний процес САР будемо на основі знайдених параметрів функції передачі об'єкта регулювання та ПІ-регулятора за допомогою математичного пакету MATLAB. На рис.3.5 приведена структурна схема регулювання рівня границі розділу зон, реалізована в середовищі SIMULINK пакету MATLAB.

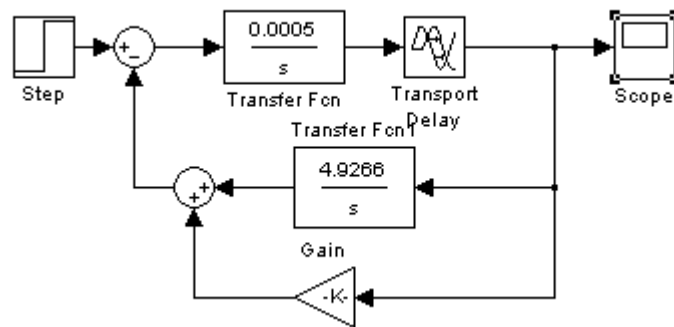


Рис. 3.5. Структурна схема регулювання рівня границі розділу зон, реалізована в середовищі SIMULINK.

Змодельємо перехідний процес у САР (рис. 3.6):

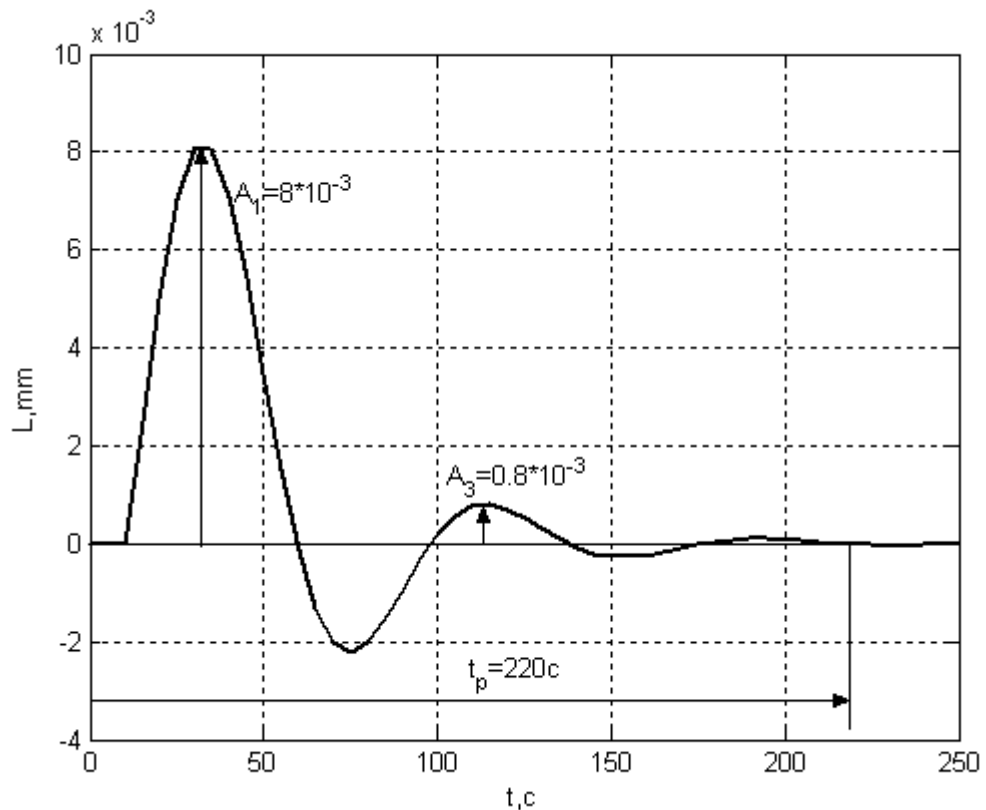


Рис. 3.6. Перехідний процес у САР із ПІ-регулятором

Як видно із рис. 3.6, максимальне динамічне відхилення  $A_1 = 8 \cdot 10^{-3}$  мм, час регулювання становить  $t_p = 220$  с, статична похибка  $\Delta_{стат} = 0$  мм, коефіцієнт зникання коливань  $\psi = 0.9$ . Отриманий перехідний процес задовільняє вимоги до якості процесу регулювання. Отже, даний регулятор забезпечує вимоги до процесу регулювання.

### 3.6.Опис загальної функціональної схеми автоматизації

В додатку зображена функціональна схема автоматизації відстійника. Вибрана система автоматизації процесу відстоювання працює наступним чином:

1. Контроль витрати освітленої рідини. Як первинний перетворювач використовується датчик витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100 (поз. 1-1), вихідний сигнал якого поступає на перетворювач MAG 5000 (поз.1-2), який здійснює покази витрати по місцю. В цій системі вимірювання витрати застосовується магнітно-індуктивний принцип вимірювання з пульсуючим постійним полем. Після перетворювача сигнал витрати заводиться на трьохканальний вторинний реєструючий прилад типу DPR 100В (поз.2-3).

2. Регулювання витрати початкової суспензії. Вимірювання, покази та реєстрація значення витрати здійснюються аналогічно до контуру 1. Сигнал з вимірювального перетворювача MAG 5000 (поз.2-2) 4-20 мА через ПЗО гр.А поступає на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється імпульсне регулювання витрати початкової суспензії. Далі імпульсний вихідний сигнал через ПЗО гр.А і блок ручного керування БРУ-10 (поз. 2-4) поступає на пускач типу ПБР-2М (поз. 2-5). При відхиленні параметра від заданого значення (700 м<sup>3</sup>/год) контролер включає ПБР-2М, який керує регулюючим клапаном 25ч939нж з електроприводом типу МЕО-16/10-0,25-82 (поз. 2-6), що встановлюється на лінії початкової (мулової) суспензії.

Для реалізації звичайного імпульсного контуру регулювання витрати початкової суспензії на РЕМІКОНТ через ПЗО гр.А заводиться також сигнал від

показника положення виконавчого механізму регулюючого органу на лінії подачі цієї суспензії БСПТ-10М (поз. 2-7).

3. Контроль витрати згущеної суспензії. Цей контур аналогічний до контура 1.

4. Контроль, сигналізація та захист мутності освітленої рідини. Первинний перетворювач - це давач мутності типу CUS 31 (поз. 4-1), що працює разом із вторинним перетворювачем Liquisys CUM 253 (поз. 4-2), за допомогою якого здійснюються покази мутності. Цей перетворювач має стандартний вихідний сигнал 4-20 мА, що поступає на трьохканальний вторинний реєструючий прилад типу DPR 100В (поз.5-2) та через ПЗО гр.А на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130. За допомогою мікропроцесорного пристрою, відповідно до розробленої програми функціонування, при відхиленні мутності від заданого значення здійснюється сигналізація верхнього рівня та захист.

При перевищенні гранично допустимого значення сигнал мутності поступає через ПЗО гр.Б і блок перемикаючих реле БПР-20 на лампове табло сигналізації та через ПЗО гр.А і блок підсилення потужності дискретних вихідних сигналів БУМ-20 на швидкодіючий електромагнітний відсічний клапан (поз. 4-3), перекриваючи потік мулової суспензії.

5. Контроль густини згущеної суспензії. Контроль густини здійснюється за допомогою перетворювача погрузного типу Solartron 7828 (поз. 5-1), вихідний сигнал якого 4-20 мА. Значення густини виводиться на трьохканальний вторинний реєструючий прилад типу DPR 100В (поз.5-2).

6. Регулювання та сигналізація рівня границі розділу зон осадження та ущільнення. Як первинний перетворювач використовується зонд (поз. 6-1), що входить до складу давача рівня границі розділу зон Rosemount 3302, вихідний сигнал якого 4-20 мА. До складу цього давача входить також корпус електроніки з вбудованим дисплеєм (поз. 6-2), який здійснює покази рівня по місцю. Сигнал від давача сприймається трьохканальним вторинним реєструючим приладом типу DPR 100В (поз. 5-2) та через ПЗО гр.А поступає на

регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється імпульсне регулювання рівня границі розділу зон. Далі імпульсний вихідний сигнал через ПЗО гр.Б і блок ручного керування БРУ-10 (поз. 6-3) поступає на пускач типу ПБР-2М (поз. 6-4). При відхиленні параметра від заданого значення (1 м) контролер включає ПБР-2М, який керує регулюючим клапаном 25ч939нж з електроприводом типу МЕО-16/10-0,25-82 (поз. 6-5), що встановлюється на лінії згущеної суспензії.

Для реалізації звичайного імпульсного контуру регулювання рівня границі розділу зон на РЕМІКОНТ через ПЗО гр.А заводиться також сигнал від показника положення виконавчого механізму регулюючого органу на лінії згущеної суспензії БСПТ-10М (поз. 6-6).

За допомогою мікропроцесорного пристрою, відповідно до розробленої програми функціонування, при відхиленні рівня границі розділу від заданого значення здійснюється сигналізація нижнього та верхнього рівнів. При цьому сигнал рівня через ПЗО гр.Б і блок перемикаючих реле БПР-20 поступає на лампове табло сигналізації.

7. Контроль та сигналізація споживаної потужності приводу електродвигуна мішалки. Вимірювальний перетворювач - Е848/13-М1 (поз. 7-1), що працює разом із вторинним перетворювачем UDI 1700 (поз. 7-2), за допомогою якого здійснюються покази. Сигнал перетворювача Е848/13-М1 4-20 мА через ПЗО гр.А поступає на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється сигналізація верхнього рівня. При цьому сигнал споживаної потужності через ПЗО гр.Б і блок перемикаючих реле БПР-20 поступає на лампове табло сигналізації.

8. Керування насосом згущеної суспензії. Для дистанційного керування пуском та зупинкою приводу електродвигуна насосу використовується контактор типу КМИ з електротепловим реле в захисній оболонці (поз. 8-1). Керування контактором здійснюється кнопкою типу АРВВ-22N (поз. 8-2),

вихідний сигнал якої через ПЗО гр.А поступає на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється сигналізація режиму роботи насоса (Вкл./Відкл). При цьому сигнал через ПЗО гр.Б і блок перемикаючих реле БПР-20 поступає на лампове табло сигналізації.

### 3.7. Специфікація на засоби автоматизації

Таблиця 3.1.

#### Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ позиції	Назва параметра	Номинальне значення параметра	Назва засобу та коротка технічна характеристика	Тип засобу	К-сть
1	1-1, 2-1, 3-1	Витрата	500м <sup>3</sup> /год для ОР; 700м <sup>3</sup> /год для ПС; 200м <sup>3</sup> /год для ЗС.	Давач витрати. Максимальний тиск: 425 бар. Робоча температура: -40-100°С. Похибка вимірювання 0,5%.	SITRANS FM MAGFLO MAG 3100	3
2	1-2, 2-2, 3-2			Перетворювач сигналу витрати. Максимальна похибка вимірювання складає 0,5% від виміряної величини витрати. Вихідні сигнали: 1 струмовий (0(4)-20 мА), 1 релейний, 1 цифро-вий. Живлення: 11-24 В постійного/змінного струму, 115-230 В змінного струму.	MAG 5000	3
3	2-3, 5-2	Витрата, мутність, густина, рівень		Цифровий триканальний стрічковий самописець фірми Honeywell. Ширина діаграми: 100мм. Похибка по всій шкалі: 0,25%. Аналогова шкала з діапазоном від 0 до 2м. Швидкість діаграми: від 10 до 1500мм/год. Живлення: 85 - 264В змінного струму 50/60Гц, 24 або 48В змінного струму /постійного струму.	DPR 100B	2
4	2-4, 6-3			Блок ручного управління, завдання та індикації. Вхідні сигнали: 0-5мА (R <sub>вх</sub> =400 Ом), 0(4)-20мА (R <sub>вх</sub> =100Ом), 0-10В (R <sub>вх</sub> >50кОм). Вихідні аналогові сигнали: 0-5 мА (R <sub>н</sub> 2кОм), 0-20мА, 4-20мА (R <sub>н</sub> 500Ом), 0-10В (R <sub>н</sub> >2кОм). Максимальна похибка установки сигналу завдання: ±0,1%. Діапазон	БРУ-10	2



				зміни установки завдання: 0-100%. Напруга живлення: від мережі змінного струму $\sim(220\pm 22)$ В, $(50\pm 1)$ Гц.		
5	2-5, 6-4			Пускач безкон-тактний реверсив-ний тиристорний. Живлення: однофаз-ною мережею змін-ного струму з напругою 220В і частотою 50Гц. Максимально кому-тується струм 4А. Споживана потуж-ність 10ВА. Вхідний сигнал постійного струму: $24\pm 6$ В; вхідний опір: не менше 750 Ом. Температура нав-колишнього середо-вища 5-50 °С.	ПБР-2М	2
6	2-6, 6-5			Регулюючий клапан з електроприводом типу МЕО-16/10-0,25-82. Номіналь-ний крутний момент на вихідному валу 16Нм, номінальний час повного ходу вихідного валу 10с, номінальний повний хід вихідного валу 0,25 об.	25ч939нж	2
7	2-7, 6-6			Блок перетворення положення вихід-ного органу в про-порційний елект-ричний сигнал і сигналізації чи бло-кування у крайніх чи проміжних поло-женнях вихідного органа. До складу блоку входить блок давача БД-10М та блок живлення БП-20.	БСПТ-10М	2
8	4-1	Мутні- сть	20 мг/л	Давач мутності. Діапазон вимірю-вання: 0.0-3.0 г/л, 0.0-200.0%.	CUS 31	1
9	4-2			Перетворювач мут-ності. Оснащений колами аварійної сигналізації. Має аналоговий, гальва-нічно розмежований вихід 4-20 мА.	Liquisys CUM 253	1
10	4-3			Швидкодіючий електромагнітний відсічний клапан з дистанційним керу-ванням. Умовний прохід: 500 мм. Конструктивні розміри клапана: 1110мм x 1220мм.	КО 500	1
11	5-1	Густи- на	1500 кг/м <sup>3</sup>	Прилад для вимі-рювання густини. Діапазон вимірю-вання: 0-3000 кг/м <sup>3</sup> . Основна абсолютна похибка вимірю-	Solartron 7828	1

				вання: 1кг/м <sup>3</sup> . Вихід: аналоговий 4-20мА. Живлення: 20- 28В постійного струму, 35-45мА.		
12	6-1, 6-2	Рівень	1 м	Хвилеводневий ра-дарний давач рівня границі розділу зон. Діапазон вимірю-вання від 0,1 до 20 м. Вихідний сиг-нал 4-20 мА постійного струму. Похибка зміни рівня: +5мм (для зонду ≤ 5м). Онов-лення показів: 1 раз/с.	Rosemount 3302	1
13	7-1	Потужність	800 кВт	Вимірювальний пе-ретворювач активної потужності трифазного струму. Вмикається безпосе-редньо. Межі допустимої приведені основної похибки: +0,5%. Діапазон вхідного сигналу: струм- 0-1 (0-0,5) А або 0-5 (0-2,5) А; напруга - 80-120 В; коефіцієнт потужності-0-плюс-1-0. Діапазон зміни ви-хідного сигналу: 4-20мА. Параметри живлення: від вимі-рювального кола.	E848/13-M1	1
14	7-2			Універсальний цифровий індикатор та сигналізатор. Має 1 універсальний вхід, похибка 0.1%±1 цифра най-меншого розряду. Універсальне джере-ло живлення і вхід: працює при будь-якій напрузі в діапа-зоні від 90 до 264 В змінного струму, 50/60 Гц (без перемичок).	UDI 1700	1
15	8-1			Контактор для дис-танційного керу-вання пуском та зупинкою приводу електродвигуна на-сосу. Номінальний робочий струм 9-95А. Номінальна робоча напруга 400В змінного стру-му. Напруга катуш-ки керування 230 або 400 В змінного струму.	КМИ	1
16	8-2			Кнопка керування контактором. Має світло-сигнальну ін-дикацію. Номіналь-на робоча напруга 24-400 В постійно-го струму, 48-660 В змінного струму.	APBB-22N	1

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Питання охорони праці на 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 процесу випікання хлібопродуктів, 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».

Згідно ГОСТ 12.4.021-75 (вентиляція, загальні вимоги) та СНіП 2.04.05-91 (вентиляція та конденсація повітря) вентиляційна система повинна відповідати передбаченим нормативам, створювати на робочих місцях нормальні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища, що відповідає діючим санітарним нормам.

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.

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу і при подальшій роботі, повинні проходити на підприємстві навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, подання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих. Керівники підприємств в свою чергу зобов'язані забезпечити своєчасне і якісне проведення інструктажу робітників по безпечним прийомам і методам роботи, які регулярно проводяться на всіх підприємствах незалежно від ступеня небезпеки підприємств. Після навчання весь персонал повинен здати іспити по техніці безпеки.

З метою визначення здатності персоналу по стану здоров'я займатися обслуговуванням, ремонтом, перевіркою систем вимірювання і автоматизації всі робітники повинні пройти медичний огляд згідно статті 17 закону України про охорону праці «Обов'язкові медичні огляди працівників певних категорій», який роботодавець зобов'язаний забезпечити за свої кошти. Повторні періодичні медичні огляди проводяться не рідше одного разу на рік.

#### *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 тяжкій 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, повітродувки, 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 борошна 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 для приготування опари*

Технологічне обладнання для приготування опари необхідно розташовувати в окремому приміщенні та відділяти від інших ділянок цеху капітальними стінами.

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,

Під час роботи дозатора борошна не дозволяється прибирати можливі просипи борошна біля нього. Допускається влаштовувати проходи біля технологічного обладнання (дозатори борошна, води, дріжджового розчину, тістомісильні машини), захищені зверху і збоку металевою сіткою.

Дозатори борошна повинні бути обладнані аспіраційними системами з апаратами для очищення повітря.

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

Експлуатація дозаторів борошна при несправних і відключених пиловловлюючих системах забороняється.

При зупинці обладнання на ремонт, огляд електродвигуни приводів тістомісильної машини і бункера для бродіння опари мають бути відімкнуті від електромережі, запобіжники вийняті з електророзподільних пристроїв, муфти роз'єднані, а на пускові пристрої вивішений заборонний знак безпеки з пояснюючим написом: «Не вмикати — працюють люди».

### **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 використається вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

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

### **5.1. Техніко-економічне обґрунтування запроєктованого варіанту системи автоматизації технологічного процесу кристалізації адипінової кислоти**

Перехід до ринкової економіки ставить перед підприємствами проблему економічної ефективності господарювання. Її вирішення вимагає проведення таких 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 по-будована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорогими, але завдяки їх багатофункціональному 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 допоміжних	Ч <sub>осн</sub> Ч <sub>доп</sub>	людей	48	24
		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, уникнути втрат від розсипання борошна в процесі дозування, 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 Цб, пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$Ц_6 = V \cdot Ц_v \left(1 + \frac{C}{100}\right), \text{ де}$$

$V$  – об’єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом  $V=25 \text{ м}^3$ ;  $Ц_v$  – ціна за  $1 \text{ м}^3$  об’єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства  $Ц_v = 195$  грн;  $C$  – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна:  $Ц_6 = 25 \times 195 (1 + 0,1) = 5362,5$  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:

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

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.

$$K_d = \left( \frac{13916187}{5649,6} - \frac{9419358}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

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.

За даними підприємства економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складає:

- економія за рахунок зменшення витрати борошна

$$E_1 = 89962,45 \text{ грн};$$

- економія за рахунок зменшення витрати олії

$$E_2 = 1869,68 \text{ грн};$$

- економія за рахунок зменшення витрати пресованих дріжджів

$$E_3 = 4795,6 \text{ грн};$$

- економія за рахунок зменшення витрати солі

$$E_4 = 361,24 \text{ грн};$$

- економія за рахунок зменшення витрати води

$$E_5 = 6758,72 \text{ грн}.$$

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 103747,69 \text{ грн}.$$

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 енергоемності 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.

Номінальний 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:

$$E_3 = \frac{\Phi_{п1}}{Q_1} \cdot Q_2 - \Phi_{п2}, \text{ де}$$

$\Phi_{п1}$ ,  $\Phi_{п2}$  – 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

$$E_3 = \frac{385458,69}{5380,6} \cdot 5649,6 - 297483,15 = 107246,25 \text{ грн.}$$

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

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

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

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

де  $\varepsilon_{заг}$  - 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.

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

Річний економічний ефект :

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

Термін окупності визначимо за формулою:

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

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.

Таблиця 5.2

**Основні техніко-економічні показники**

№	Показник	Одиниці виміру	Величина	
			По проекту	По заводських даних
1.	Річний випуск продукції в натуральному вигляді	тони	5649,6	5380,6
2.	Витрати на автоматизацію	грн	139161,87	94193,58
3.	Собівартість	грн	465,48	469,54
4.	Річний економічний ефект	грн	156184,26	-
5.	Термін окупності	рік	0,786	-
6.	Коефіцієнт порівняльної ефективності		1,27	-

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

На основі виконаних досліджень вирішено питання автоматизації технологічного процесу очищення стічних вод і сформульовано такі висновки:

1. Підвищення ефективності функціонування очисних споруд на підприємствах агропромислових комплексів – один з важливих чинників покращення якості навколишнього середовища, захисту водойм від забруднень шкідливими речовинами природного і неприродного походження. У системах очистки стічної води широко використовується процес відстоювання. Вдосконалення апаратного оформлення цих процесів, забезпечення сприятливих фізіологічних умов для життєдіяльності активного мулу та ряд інших заходів дозволили значно інтенсифікувати процеси біохімічного окислення і покращити санітарно-хімічні показники очищених стічних вод, що зливаються у водойми.

2. Найбільш проста схема біологічного очищення промислових стічних вод. Стічні води поступають в аеротенк. Аеротенк представляє собою відкриту водну систему, в якій проходить біохімічне перетворення органічних речовин в момент змішування стічної рідини з активним мулом і протягом всього процесу. В процесі біохімічного окислення компонентів стічних вод хімічних виробництв активним мулом важливе значення також має його кількість в аеротенку, виражене беззольною речовиною в грамах на літр мулової суміші. Найбільший вплив доза активного мулу здійснює на процеси окислення вуглеводовмісних компонентів стічних вод.

3. Показником ефективності процесу в аеротенку є концентрація органічних забруднень на його виході, тому метою керування є підтримання цієї концентрації на гранично допустимому значенні. На показник ефективності впливає концентрація органічних забруднень в поступаючих стічних водах, витрата стоків, концентрація бактерій та розчиненого кисню в муловій суміші, а також тривалість перебування стічних вод в апараті. Процес регулюють за кількістю органічних речовин в стічних водах, що поступають на очистку, яку

розраховують згідно витрати стічних вод і зміни в них концентрації розчиненого кисню.

4. Як об'єкт регулювання - відстійник неперервної дії з гребковими мішалками. Вхідними величинами відстійника є витрата початкової суспензії  $F_c$ , витрата згущеної суспензії  $F_{zc}$  та витрата освітленої рідини  $F_{op}$ . Вихідними величинами відстійника є рівень границі розділу зон осадження та ущільнення  $L$  і концентрація твердої фази в освітленій рідині  $C_{то}$ . Концентрацію твердої фази в освітленій рідині контролювати важко, тому основною вихідною величиною відстійника вважають рівень границі розділу зон. Витрата початкової суспензії  $F_c$ , концентрація твердих частинок в суспензії  $C_{тс}$  та в'язкість суспензії  $\mu_c$  у більшості випадків визначаються ходом попереднього технологічного процесу і впливати на ці параметри важко, тому у більшості випадків їх значення контролюють. Всі перелічені параметри впливають на вихідні величини. На концентрацію твердої фази в освітленій рідині впливає також значення моменту на валу електродвигуна мішалки  $M$  (або споживаної його приводом потужності), тому оберти мішалки вибирають оптимальними.

5. Регульованими технологічними параметрами у процесі відстоювання є рівень границі розділу зон осадження та ущільнення, який залежить від витрати згущеної суспензії та витрати початкової суспензії. Для підтримання рівня на заданому значенні регулююча дія має бути спрямована на зміну ступеня відкриття регулюючого органу на лінії згущеної суспензії. А для підтримання витрати початкової суспензії на заданому значенні регулююча дія має бути спрямована на зміну ступеня відкриття регулюючого органу на лінії подачі цієї суспензії.

6. Проведена розробка системи автоматизації відстійника в процесі біологічної очистки стічних вод, зокрема розглянуто існуючі схеми автоматизації та синтезована ФСА для заданих умов роботи. Система автоматизації процесу відстоювання працює наступним чином:

Контроль витрати освітленої рідини. Як первинний перетворювач використовується давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100,

вихідний сигнал якого поступає на перетворювач MAG 5000. В цій системі вимірювання витрати застосовується магнітно-індуктивний принцип вимірювання з пульсуючим постійним полем;

Регулювання витрати початкової суспензії. Сигнал з вимірювального перетворювача MAG 5000 через ПЗО поступає на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється імпульсне регулювання витрати початкової суспензії. Далі імпульсний вихідний сигнал через ПЗО гр.А і блок ручного керування БРУ-10 поступає на пускач типу ПБР-2М. При відхиленні параметра від заданого значення контролер включає ПБР-2М, який керує регулюючим клапаном 25ч939нж з електроприводом типу МЕО-16/10-0,25-82, що встановлюється на лінії початкової (мулової) суспензії;

Контроль, сигналізація та захист мутності освітленої рідини. Первинний перетворювач - це давач мутності типу CUS 31, що працює разом із вторинним перетворювачем Liquisys CUM 253, за допомогою якого здійснюються покази мутності. За допомогою мікропроцесорного пристрою, відповідно до розробленої програми функціонування, при відхиленні мутності від заданого значення здійснюється сигналізація верхнього рівня та захист;

Контроль густини згущеної суспензії. Контроль густини здійснюється за допомогою перетворювача погрузного типу Solartron 7828. Значення густини виводиться на трьохканальний вторинний реєструючий прилад типу DPR 100В.

Регулювання та сигналізація рівня границі розділу зон осадження та ущільнення. Як первинний перетворювач використовується зонд, що входить до складу давача рівня границі розділу зон Rosemount 3302. При відхиленні параметра від заданого значення контролер включає ПБР-2М, який керує регулюючим клапаном 25ч939нж з електроприводом типу МЕО-16/10-0,25-82, що встановлюється на лінії згущеної суспензії.

Контроль та сигналізація споживаної потужності приводу електродвигуна мішалки. Вимірювальний перетворювач - E848/13-M1, що працює разом із



вторинним перетворювачем UDI 1700, за допомогою якого здійснюються покази.

Керування насосом згущеної суспензії. Для дистанційного керування пуском та зупинкою приводу електродвигуна насосу використовується контактор типу КМИ з електротепловим реле в захисній оболонці. Керування контактором здійснюється кнопкою типу АРВВ-22N (поз. 8-2), вихідний сигнал якої через ПЗО гр.А поступає на регулюючий блок БК-21-25 контролера РЕМІКОНТ Р-130, де відповідно до розробленої програми функціонування здійснюється сигналізація режиму роботи насоса (Вкл./Відкл). При цьому сигнал через ПЗО гр.Б і блок перемикаючих реле БПР-20 поступає на лампове табло сигналізації.

7. Для заданих критеріїв якості регулювання були розраховані оптимальні параметри настройки ПІ-регулятора рівня границі зон осадження та ущільнення у відстійнику ( $K_p=136.4601$ ;  $K_p/T_{із}=4.9266$ ).

8. В середовищі SIMULINK пакету MATLAB був побудований перехідний процес з наступними критеріями якості регулювання:  $A_{\max}=8 \cdot 10^{-3}$  мм,  $t_p=220$  с,  $\psi=0.9$ . Ці критерії якості регулювання повністю задовільнили задані.

## 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.