

**Міністерство освіти і науки України**  
**Харківська національна академія міського господарства**

**А.О.Бобух, О.І.Малєєв**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до самостійної роботи і практичних занять**

**з дисципліни «Автоматизація ВК систем»**

*(для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання  
професійного напрямку 0926 «Водні ресурси»,  
спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення»)*

Методичні вказівки до самостійної роботи і практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0926 «Водні ресурси», спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення»). / Укл. Бобух А.О., Малєєв О.І. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 44 с.

Укладачі: А.О.Бобух, О.І.Малєєв.

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри теплохолодопостачання В.І.Абелешов

Рекомендовано кафедрою теплохолодопостачання, протокол № 6 від 18.02.2009р.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
<b>ПЕРША ЧАСТИНА</b> .....	5
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання) .....	5
ВСТУП .....	5
1. РОЛЬ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ З ПИТАНЬ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ .....	5
2. ЗМІСТОВІ МОДУЛІ (ЗМ), ЛІТЕРАТУРА І КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ЗА ЗМ ДИСЦИПЛІНИ .....	12
3. ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ .....	16
4. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ .....	17
<b>ДРУГА ЧАСТИНА</b> .....	18
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання).....	18
ВСТУП .....	18
1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. Дослідження лінійної системи автоматичного керування на стійкість за частотним критерієм Михайлова .....	19
2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. Аналіз лінійної системи автоматичного керування рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів .....	24
3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. Розробка функціональних схем автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) на базі сучасних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА), в тому числі мікропроцесорного контролера (МПК) .....	27
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	43

## **ПЕРЕДМОВА**

Це навчальне видання з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0926 «Водні ресурси», спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення») містить дві частини, в яких наведено методичні вказівки до самостійної роботи студентів і практичних занять.

Перша частина включає методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання).

Друга частина містить методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання).

## ПЕРША ЧАСТИНА

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація ВК систем»  
(для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання)

### ВСТУП

Самостійна навчальна робота студента полягає у формуванні професійних вмінь і навичок для прийняття самостійних рішень під час конкретної роботи в реальних умовах, виховання потреби систематичного поновлення своїх знань та творчого їх застосування у практичній діяльності. З цією метою рекомендовано інформаційно-методичне забезпечення, що зазначене далі.

### 1. РОЛЬ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ З ПИТАНЬ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

**Статус дисципліни** - нормативна.

**Тривалість вивчення дисципліни.** Загальна кількість часу, що відведена для вивчення дисципліни, складає 4,5/162 кредитів/годин, протягом одного семестру п'ятого і шостого року відповідно денної і заочної форм навчання.

#### Форми й методи навчання

Форма навчання	Курс	Семестр	Години						Іспит (семестр)	
			Всього	Аудиторні	у тому числі			Самостійна робота		у т. ч.
					Лекції	Практичні	Лабораторні			РГЗ
Денна	5	9	162	54	18	18	18	108	20	9
Заочна	6	11	162	20	12	4	4	142	20	11

#### 1.1. Мета вивчення

Забезпечити єдиний комплексний підхід, системність і послідовність при одержанні потрібного й достатнього обсягу знань і вмінь згідно з освітньо-кваліфікаційним рівнем «спеціаліст» з відповідної спеціальності. Оволодіння необхідним обсягом теоретичних і практичних знань із сучасних методів дослідження об'єктів керування та поглибленими поняттями про автоматизацію систем водопостачання та водовідведення, їх визначення, цілі, функції, класифікацію, загальні відомості про сучасні контрольно-вимірвальні прилади та засоби автоматизації (КВП та ЗА). Виховання потреби системного поновлення знань студентів і творчого їх застосування у практичній діяльності.

## 1.2. Інформаційний обсяг (зміст) дисципліни

**Модуль 1. Автоматизація ВК систем**  
(назва модуля)

**(4,5/162)**  
(кількість кредитів/годин)

### **Змістові модулі (ЗМ):**

**ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)**  
(назва змістового модуля)

**(1,5/54)**  
(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

1. Основні поняття про автоматизацію систем водопостачання та водовідведення як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.
2. Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статистики і динаміки.
3. Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.
4. Стійкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні та частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.
5. Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова.
6. Аналіз лінійної САК рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів.
7. Типові закони керування (П, І, ПІ, ПД, ПІД) параметрами технологічних процесів.

**ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації (КВП та ЗА) систем водопостачання та водовідведення.**

(назва змістового модуля)

**(1,5/54)**  
(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

1. Автоматичний контроль температури. Класифікація термометрів за принципом дії. Термоперетворювачі опору. Термоелектричні перетворювачі. Нормуючі перетворювачі сигналів. Термоперетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму. Вторинні прилади.
2. Автоматичний контроль тиску. Класифікація приладів для вимірювання тиску за принципом дії та видом вимірювальної величини тиску, їх коротка характеристика. Електричні тензорезисторні перетворювачі сигналів для контролю тиску, витрат і рівня рідини.
3. Автоматичний контроль витрати і кількості рідини і газу. Класифікація витратомірів. Електромагнітні (індукційні) витратоміри. Витратоміри змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої. Стандартні звужуючі пристрої. Лічильники для вимірювання кількості рідини і газу. Автоматичний облік кількості спожитої теплової енергії.
4. Автоматичний контроль рівня рідини. Автоматичний контроль концентрації (складу), вологості, густини і в'язкості.
5. Автоматичні регулятори та їх класифікація. Автоматичні регулятори неперервної дії (П, І, ПІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.
6. Загальні відомості про електричні релейно-контактні схеми автоматизації (ЕРКСА), визначення, основні елементи. Умовні літерні й графічні зображення елементів ЕРКСА. Типові елементарні ЕРКСА. Автоматичне керування роботою електродвигуна. Призначення систем автоматичного захисту і технологічної сигналізації.

7. Дослідження роботи лічильника теплової енергії типу SUPERCAL 539 при роботі з фізичною моделлю системи опалення (ФМСО) для автоматичних: обліку спожитої теплової енергії ФМСО, контролю температури теплоносія на вході й виході ФМСО, а також витрати теплоносія, який пройшов через ФМСО.
8. Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячого теплоносія у ФМСО з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу.
9. Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води у фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).

**ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) систем водопостачання та водовідведення.**

(назва змістового модуля)

**(1/36)**

(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

1. Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні й цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.
2. Методика розробки ФСА ТП систем водопостачання та водовідведення на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
3. ФСА ТП фільтрації води на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
4. ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод на сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
5. Розробка ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
6. Розробка ФСА ТП очищення стічних фенольних вод на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
7. Диспетчеризація систем водопостачання та водовідведення, особливості диспетчерської служби цих систем.
8. Виконання РГЗ на тему «Розробка ФСА ТП (за індивідуальним завданням кожному студенту) на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК».

**1.3. Розподіл часу за модулями і змістовими модулями та форми навчальної роботи студента**

Таблиця 1.

Модулі (семестри) й змістові модулі	Всього, кредит/годин	Форми навчальної роботи							
		Лекції		Практичні		Лабораторні		СРС	
		Денна	Заочна	Денна	Заочна	Денна	Заочна	Денна	Заочна
Модуль 1.	4,5/162	18	12	18	4	18	4	108	142
ЗМ 1.1.	1,5/54	8	5	6	2	–	–	40	47
ЗМ 1.2.	1,5/54	8	5	–	–	18	4	28	45
ЗМ 1.3.	1,5/54	2	2	12	2	–	–	40	50

## 1.4. Лекційний курс (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 2.

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	7.092601 ВВ	
1	2	3
<b>ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)</b>	Денна	Заочна
Основні поняття про автоматизацію систем водопостачання та водовідведення як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.	2	1
Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статичної і динамічної.	1	1
Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.	2	1
Стойкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні та частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.	1	1
Типові закони керування (П, І, ПІ, ПД, ПІД) параметрами технологічних процесів.	2	1
<b>ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) систем водопостачання та водовідведення.</b>	Денна	Заочна
Автоматичний контроль температури. Класифікація термометрів за принципом дії. Термоперетворювачі опору. Термоелектричні перетворювачі. Нормуючі перетворювачі сигналів. Термоперетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму. Вторинні прилади.	1	0,75
Автоматичний контроль тиску. Класифікація приладів для вимірювання тиску за принципом дії та видом вимірювальної величини тиску, їх коротка характеристика. Електричні тензорезисторні перетворювачі сигналів для контролю тиску, витрат і рівня рідини.	2	1
Автоматичний контроль витрати й кількості рідини і газу. Класифікація витратомірів. Електромагнітні (індукційні) витратоміри. Витратоміри змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої. Стандартні звужуючі пристрої. Лічильники для вимірювання кількості рідини і газу. Автоматичний облік кількості спожитої теплової енергії.	1	0,75
Автоматичний контроль рівня рідини. Автоматичний контроль концентрації (складу), вологості, густини і в'язкості.	0,5	0,5
Автоматичні регулятори та їх класифікація. Автоматичні регулятори неперервної дії (П, І, ПІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.	1,5	1
Загальні відомості про електричні релейно-контактні схеми автоматизації (ЕРКСА), визначення, основні елементи. Умовні літерні та графічні зображення елементів ЕРКСА. Типові елементарні ЕРКСА. Автоматичне керування роботою електродвигуна. Призначення систем автоматичного захисту і технологічної сигналізації.	2	1
<b>ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) систем водопостачання та водовідведення.</b>	Денна	Заочна
Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні й цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.	1	1
Методика розробки ФСА ТП систем водопостачання та водовідведення на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	0,25	0,25
ФСА ТП фільтрації води на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	0,25	0,25
ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод на сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	0,25	0,25
Диспетчеризація систем водопостачання та водовідведення, особливості диспетчерської служби цих систем.	0,25	0,25



## 1.5. Практичні заняття (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 3

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	7.092601 ВВ	
<b>ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК).</b>	Денна	Заочна
Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова.	4	2
Аналіз лінійної САК рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів.	2	–
<b>ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) інженерних систем.</b>	Денна	Заочна
Розробка ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	6	1
Розробка ФСА ТП очищення стічних фенольних вод на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	6	1

## 1.6. Лабораторні роботи (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 4

Тематика	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	7.092601 ВВ	
<b>ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) інженерних систем.</b>	Денна	Заочна
Дослідження роботи лічильника теплової енергії типу SUPERCAL-539 при роботі з фізичною моделлю системи опалення (ФМСО) для автоматичних: обліку спожитої теплової енергії ФМСО, контролю температури теплоносія на вході й виході ФМСО, а також витрати теплоносія, який пройшов через ФМСО.	6	2
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячого теплоносія у ФМСО з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу.	8	2
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води у фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).	4	–

## 1.7. Індивідуальні завдання:

курсний проект (робота), РГЗ, контрольна робота тощо

Виконання РГЗ на тему «Розробка ФСА ТП (за індивідуальним завданням кожному студенту) на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК» [3] – 20 годин.

(тематика, зміст і обсяг у годинах)

## 1.8. Самостійна навчальна робота студента

Таблиця 5

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	7.092601 ВВ	
1	2	3
<b>ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)</b>	Денна	Заочна
Основні поняття про автоматизацію систем водопостачання та водовідведення як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.	6	6
Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статички і динаміки.	6	10
Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.	6	8
Стійкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні та частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.	6	6
Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова.	6	6
Аналіз лінійної САК рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів.	4	5
Типові закони керування (П, І, ПІ, ПД, ПІД) параметрами технологічних процесів.	6	6
<b>ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) систем водопостачання та водовідведення.</b>	Денна	Заочна
Автоматичний контроль температури. Класифікація термометрів за принципом дії. Термоперетворювачі опору. Термоелектричні перетворювачі. Нормуючі перетворювачі сигналів. Термоперетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму. Вторинні прилади.	4	5
Автоматичний контроль тиску. Класифікація приладів для вимірювання тиску за принципом дії та видом вимірювальної величини тиску, їх коротка характеристика. Електричні тензорезисторні перетворювачі сигналів для контролю тиску, витрат і рівня рідини.	4	5
Автоматичний контроль витрати і кількості рідини й газу. Класифікація витратомірів. Електромагнітні (індукційні) витратоміри. Витратоміри змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої. Стандартні звужуючі пристрої. Лічильники для вимірювання кількості рідини і газу. Автоматичний облік кількості спожитої теплової енергії.	4	5
Автоматичний контроль рівня рідини. Автоматичний контроль концентрації (складу), вологості, густини і в'язкості.	2	5
Автоматичні регулятори та їх класифікація. Автоматичні регулятори неперервної дії (П, І, ПІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.	4	6
Загальні відомості про електричні релейно-контактні схеми автоматизації (ЕРКСА), визначення, основні елементи. Умовні літерні й графічні зображення елементів ЕРКСА. Типові елементарні ЕРКСА. Автоматичне керування роботою електродвигуна. Призначення систем автоматичного захисту і технологічної сигналізації.	4	6

1	2	3
Дослідження роботи лічильника теплової енергії типу SUPERCAL 539 при роботі з фізичною моделлю системи опалення (ФМСО) для автоматичних: обліку спожитої теплової енергії ФМСО, контролю температури теплоносія на вході й виході ФМСО, а також витрати теплоносія, який пройшов через ФМСО.	2	4
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячого теплоносія у ФМСО з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу.	2	5
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води у фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).	2	4
<b>ЗМ 1.3.Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) систем водопостачання та водовідведення.</b>	Денна	Заочна
Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні й цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.	4	8
Методика розробки ФСА ТП систем водопостачання та водовідведення на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	1	1
ФСА ТП фільтрації води на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	3	4
ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод на сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	3	5
Розробка ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	4	6
Розробка ФСА ТП очищення стічних фенольних вод на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.	3	4
Диспетчеризація систем водопостачання та водовідведення, особливості диспетчерської служби цих систем.	2	2
Виконання РГЗ на тему «Розробка ФСА ТП (за індивідуальним завданням кожному студенту) на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК».	20	20

(форми самостійної роботи, обсяг у годинах)

## **2. ЗМІСТОВІ МОДУЛІ (ЗМ), ЛІТЕРАТУРА І КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ЗА ЗМ ДИСЦИПЛІНИ**

### **ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)**

Навчальні елементи

1. Основні поняття про автоматизацію систем водопостачання та водовідведення як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.
2. Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статики і динаміки.
3. Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.
4. Стійкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні та частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.
5. Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова.
6. Аналіз лінійної САК рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів.
7. Типові закони керування (П, І, ПІ, ПД, ПІД) параметрами технологічних процесів.

Література [1], с. 6-10, 22-62.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке автоматизація з сучасного погляду?
2. Що розуміють під технологічним об'єктом керування, вхідним і вихідним параметрами цих об'єктів?
3. За рахунок чого визначають успіх автоматизації систем водопостачання та водовідведення?
4. Які системи автоматизації виділяють: за призначенням, за ступенем автоматизації і залежно від носіїв інформації?
5. Назвіть основні елементи систем автоматичного керування.
6. Що називають первинним і передавальним перетворювачами сигналів, вторинним приладом, автоматичним регулятором і виконавчим механізмом?
7. Які основні елементи складають технологічну частину систем автоматичного керування (САК) і які називають локальними контрольно-вимірювальними приладами та засобами автоматизації?
8. Що розуміють під системою автоматичного керування (САК) і які їх види згідно з інформативним принципом класифікації?
9. Чим відрізняються принципи керування за відхиленням, за збуренням і комбінований?
10. Наведіть загальні характеристики ланок САК і форми запису їх рівнянь статики і динаміки.
11. Назвіть типові елементарні ланки САК і їх основні динамічні характеристики.
12. Від чого залежать динамічні властивості ланок другого порядку?
13. Наведіть визначення передаточної функції і напишіть вирази передаточних функцій типових елементарних ланок САК.
14. Перелічіть основні частотні характеристики ланок і наведіть приклади їх побудови.

15. Наведіть визначення структурної схеми САК і побудови результуючих передаточних функцій при послідовному, паралельному, змішаному і від'ємному зворотному з'єднаннях ланок САК?

16. Що розуміють під стійкою САК і називають характеристичним рівнянням незбуреного (вільного) руху?

17. Сформулюйте алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца САК, який описують характеристичним рівнянням 4-го порядку.

18. Викладіть методику побудови годографа Михайлова та нарисуйте приклади годографів Михайлова стійких і нестійких САК для передаточних функцій від другого до п'ятого порядків.

19. Визначіть основні показники якості САК і що називають статистичною і динамічною похибками САК?

Назвіть основні види типових збурень.

20. Назвіть основні види типових збурень.

21. Що розуміють під законом керування, які особливості і який вигляд рівняння пропорційного закону керування?

22. Які недоліки має інтегральний закон керування?

23. Які переваги пропорційно-інтегрального закону керування?

24. Як представляють структурну схему ПД-регулятора?

25. Напишіть формулу пропорційно-інтегрально-диференціального закону керування і визначить роль кожної складової.

### **ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) систем водопостачання та водовідведення.**

Навчальні елементи

1. Автоматичний контроль температури. Класифікація термометрів за принципом дії. Термоперетворювачі опору. Термоелектричні перетворювачі. Нормуючі перетворювачі сигналів. Термоперетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму. Вторинні прилади.
2. Автоматичний контроль тиску. Класифікація приладів для вимірювання тиску за принципом дії та видом вимірювальної величини тиску, їх коротка характеристика. Електричні тензорезисторні перетворювачі сигналів для контролю тиску, витрат і рівня рідини.
3. Автоматичний контроль витрати і кількості рідини і газу. Класифікація витратомірів. Електромагнітні (індукційні) витратоміри. Витратоміри змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої. Стандартні звужуючі пристрої. Лічильники для вимірювання кількості рідини і газу. Автоматичний облік кількості спожитої теплової енергії.
4. Автоматичний контроль рівня рідини. Автоматичний контроль концентрації (складу), вологості, густини і в'язкості.
5. Автоматичні регулятори та їх класифікація. Автоматичні регулятори неперервної дії (П, І, ПІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.
6. Загальні відомості про електричні релейно-контактні схеми автоматизації (ЕРКСА), визначення, основні елементи. Умовні літерні й графічні зображення елементів ЕРКСА. Типові елементарні ЕРКСА. Автоматичне керування роботою електро-двигуна. Призначення систем автоматичного захисту і технологічної сигналізації.

7. Дослідження роботи лічильника теплової енергії типу SUPERCAL 539 при роботі з фізичною моделлю системи опалення (ФМСО) для автоматичних: обліку спожитої теплової енергії ФМСО, контролю температури теплоносія на вході й виході ФМСО, а також витрати теплоносія, який пройшов через ФМСО.
8. Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячого теплоносія у ФМСО з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу.
9. Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води у фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).

Література [1], с. 63-121, 166-173.

### **Контрольні запитання**

1. За якими ознаками класифікують контрольно-вимірювальні прилади?
2. Наведіть співвідношення між термодинамічною шкалою Кельвіна і міжнародною практичною шкалою Цельсія.
3. Перелічіть термометри розширення і наведіть принципи їх дії.
4. Чим відрізняється принцип дії манометричних термометрів і термометрів розширення?
5. Назвіть принцип дії термоперетворювачів опору і типи цих перетворювачів.
6. Назвіть принцип дії термоелектричних перетворювачів.
7. Нарисуйте принципову схему нормуючого перетворювача сигналів.
8. Які термоперетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму Вам відомі?
9. Чим відрізняються вторинні прилади типів А-542 і А-543?
10. Назвіть види вимірювальної величини тиску і принцип дії рідинних манометрів.
11. Назвіть принцип дії деформаційних приладів для вимірювання тиску.
12. Наведіть принцип дії вимірювальних тензорезисторних перетворювачів сигналів типу «КВАНТ» і які типи з них використовують для вимірювання тиску, витрати, рівня?
13. Наведіть визначення витрати та кількості рідини, а також методи вимірювання витрати рідини і газу.
14. Наведіть принцип дії електромагнітних (індукційних) витратомірів.
15. Наведіть принцип дії витратомірів змінного перепаду тиску на звужуючому пристрої та визначення коефіцієнта (модуля) звужуючого пристрою.
16. Назвіть стандартні звужуючі пристрої та їх короткі характеристики.
17. Наведіть типи лічильників рідини та газу, принцип їх дії.
18. За допомогою яких приладів виконують автоматичний облік теплової енергії, принцип їх дії.
19. Наведіть принцип дії приладів для вимірювання рівня рідини, концентрації, вологості, густини і в'язкості.
20. Наведіть принципи класифікації автоматичних регуляторів (АР) і визначення АР неперервної дії, зокрема П-, І-, ПІ-, ПД-, ПІД-регуляторів.
21. Які типи виконавчих механізмів використовують при автоматизації систем водопостачання та водовідведення?

22. Назвіть основні елементи ЕРКСА та що показують на схемах головного струму і схемах керування (допоміжних ланок)?

23. Нарисуйте типові елементарні ЕРКСА повторювача, самоблокування і взаємного блокування.

24. Нарисуйте ЕРКСА послідовного блокування включенням і виключенням.

25. Нарисуйте ЕРКСА пуску, зупинки й захисту від перевантаження асинхронного трифазного електричного двигуна з короткозамкненим ротором.

26. Назвіть призначення системи автоматичного захисту і технологічної сигналізації.

### **ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) систем водопостачання та водовідведення.**

Навчальні елементи

1. Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні й цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.
2. Методика розробки ФСА ТП систем водопостачання та водовідведення на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
3. ФСА ТП фільтрації води на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
4. ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод на сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
5. Розробка ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
6. Розробка ФСА ТП очищення стічних фенольних вод на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.
7. Диспетчеризація систем водопостачання та водовідведення, особливості диспетчерської служби цих систем.
8. Виконання РГЗ на тему «Розробка ФСА ТП (за індивідуальним завданням кожному студенту) на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК».

Література [1], с. 11-21, 122-165.

### **Контрольні запитання**

1. Що визначають структурна, принципова і функціональна схеми автоматизації технологічного процесу?

2. Які характерні функції систем автоматичного керування реалізують при розробці функціональних схем автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП)?

3. Наведіть умовні графічні, цифрові та літерні зображення матеріальних потоків, технологічного обладнання і локальних КВП та ЗА на ФСА ТП.

4. За рахунок яких переваг треба використовувати адресний метод розробки ФСА ТП, наведіть його визначення.

5. Нарисуйте ФСА ТП фільтрації води із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000, які функції реалізовано при розробці цієї схеми?

6. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП фільтрації води із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000 і повні назви САК, їх основні елементи та позиції цих елементів на ФСА ТП.

7. Нарисуйте ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000, які функції реалізовано при розробці цієї схеми?

8. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000 і повні назви САК, їх основні елементи та позиції цих елементів на ФСА ТП.

9. Нарисуйте ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000, які функції реалізовано при розробці цієї схеми?

10. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП кисневого режиму в аеротенках для очищення стічних вод із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000 і повні назви САК, їх основні елементи та позиції цих елементів на ФСА ТП.

11. Нарисуйте ФСА ТП очищення стічних фенольних вод із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000, які функції реалізовано при розробці цієї схеми?

12. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП очищення стічних фенольних вод із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000 і повні назви САК, їх основні елементи та позиції цих елементів на ФСА ТП.

13. Що передбачає і забезпечує диспетчеризація систем водопостачання та водовідведення?

14. Назвіть основне призначення щитів автоматизації і як класифікують щити автоматизації за призначенням, обсягом обладнання, конструктивним оформленням?

15. Назвіть висоту розміщення деяких засобів автоматизації на фасадній стороні щита і основне призначення пультів керування.

16. Назвіть основне завдання диспетчерської служби систем водопостачання та водовідведення і що розуміють під оперативним керуванням обладнанням систем водопостачання та водовідведення?

17. Назвіть три групи об'єктів водопостачання та водовідведення за ступенем автоматизації і диспетчерського керування.

18. Назвіть функції центрального і місцевого диспетчерів систем водопостачання та водовідведення і де застосовують одноступеневу схему диспетчерської служби систем водопостачання, її призначення?

19. Де застосовують двоступеневу і триступеневу схеми диспетчерської служби систем водопостачання, її призначення?

### 3. ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

**Поточний контроль** проводять за результатами тестування студентів після закінчення вивчення кожного змістового модуля, прийому лабораторних робіт і виконаного РГЗ.

**Підсумковий контроль** – шляхом складання екзамену.



#### 4. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ

**«Відмінно»** – за національною шкалою; **«А»** (91-100% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Творчий підхід до засвоювання матеріалу, повнота і правильність виконання завдання.
2. Вміння застосовувати різні принципи й методи в конкретних ситуаціях.
3. Глибокий аналіз фактів та подій, спроможність прогнозування результатів від прийнятих рішень.
4. Чітке, послідовне викладання відповіді на папері.
5. Вміння пов'язати теорію і практику.

**«Добре»** – за національною шкалою; **«В»** (81-90% набраних балів), **«С»** (71-80% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Мають місце деякі непринципові помилки несуттєвого характеру у викладанні відповідей при повних знаннях програмного матеріалу.
2. Переважання логічних підходів перед творчими у відповідях на питання.
3. Не завжди правильне прогнозування подій від прийнятих рішень.
4. Вміння пов'язати теорію з практикою.

**«Задовільно»** – за національною шкалою; **«D»** (61-70% набраних балів), **«E»** (51-60% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Репродуктивний підхід до засвоювання і викладання матеріалу.
2. Недостатня повнота викладання матеріалу, але при обов'язковому виконанні (можливо з несуттєвими помилками) тих завдань, що пов'язані з розв'язанням практичних задач.
3. Неглибокі знання основного матеріалу, наявність великої кількості неточностей у викладанні матеріалу.
4. Нечітке викладання матеріалу на папері, порушення логічної послідовності при викладанні матеріалу.
5. Утруднення при практичному втіленні прийнятих рішень.

**«Незадовільно з можливістю повторного оцінювання»** – за національною шкалою; **«FX»** (26-50% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Відсутність знань з більшої частини матеріалу, погане засвоєння принципів положень курсу.
2. Наявність грубих, принципівих помилок при практичному виконанні отриманих завдань.

**«Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням»** – за національною шкалою; **«F»** (0-25% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Невиконання або виконання з великими помилками тих завдань, що пов'язані з розв'язанням практичних задач.
2. Неграмотне і неправильне викладання відповідей на папері.

## ДРУГА ЧАСТИНА

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем»  
(для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання)

### ВСТУП

Загальною метою практичних занять є закріплення отриманих знань з дисципліни «Автоматизація ВК систем». Виконуючи завдання на практичних заняттях, студенти набувають досвід розробки (адресним методом) функціональних схем автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП), який їм знадобиться при виконанні відповідного розділу дипломного проекту; виконують дослідження систем автоматичного керування (САК) на стійкість за частотним критерієм Михайлова, а також аналіз САК на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца і якість перехідних процесів.

Практичні заняття сприяють більш повному розумінню **автоматизації**, як сфери науки і техніки, яка на основі теорії автоматичного керування здійснює розробку теоретичних методів і технічних засобів, що забезпечують розв'язання завдань дослідження, виготовлення і експлуатації об'єктів автоматизації [1-7].

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Дослідження лінійної системи автоматичного керування на стійкість за частотним критерієм Михайлова (4 год. – для студентів 5 курсу денної і 2 год. – для студентів 6 курсу заочної форм навчання))

**1.1. Мета практичного заняття** – оволодіння навичками дослідження лінійної системи автоматичного керування (САК) на стійкість за частотним критерієм Михайлова.

**1.2. Алгоритм побудови годографа Михайлова і приклади для оцінки стійкості САК**

До частотних критеріїв стійкості лінійних неперервних САК належать критерії Михайлова, Найквіста, логарифмічний і метод Д-розбиття.

Для лінійних САК технологічними процесами інженерних систем міського господарства більш зручно використовувати критерій Михайлова. Оцінку стійкості САК за цим критерієм виконують на основі годографа Михайлова, алгоритм побудови якого передбачає:

1) запис відомих передаточних функцій САК ( для замкненої САК –  $W_3(p)$ , для розімкненої САК -  $W_p(p)$ );

2) одержання нових функцій, що позначають через  $G(p)$ , для замкненої САК – це знаменник передаточної функції ( $G_3(p)$ ), а для розімкненої САК – це сума чисельника і знаменника ( $G_p(p)$ );

3) заміну у функціях  $G_3(p)$  та  $G_p(p)$  оператора Лапласа добутком  $i \cdot \omega$ , тобто  $p = i \cdot \omega$ , де  $i = \sqrt{-1}$  ( $i^2 = -1$ ;  $i^3 = -i$ ;  $i^4 = 1$  і т.д.), а  $\omega$  - частота ( $0 \leq \omega \leq \infty$ ) і отримання комплексних функцій  $G_3(\omega)$  і  $G_p(\omega)$ ;

4) перетворення одержаних комплексних функцій  $G_3(\omega)$  та  $G_p(\omega)$  до вигляду, що має відповідні дійсні  $Re(\omega)$  і уявні  $Im(\omega)$  частини, тобто

$$G_3(\omega) = Re_3(\omega) + iIm_3(\omega), \quad G_p(\omega) = Re_p(\omega) + iIm_p(\omega);$$

5) зміну значення  $\omega$  в межах від 0 до  $\infty$ , обчислення відповідних значень  $Re(\omega)$  та  $Im(\omega)$  і запис їх в таблицю;

6) побудову на комплексній площині в координатах  $Re(\omega)$ ,  $Im(\omega)$  годографа Михайлова, радіус-вектор якого при зміні  $\omega$  від 0 до  $\infty$  обертається проти годинникової стрілки.

**Частотний критерій Михайлова формулюють таким чином:** для стійкості САК необхідно і достатньо, щоб радіус-вектор годографа Михайлова для передаточної функції  $n$ -го порядку при зміні частоти від 0 до  $\infty$ , почавши обертання з точки, яка лежить на дійсній осі праворуч від нуля, обертаючись проти годинникової стрілки і ніде не перетворюючись в нуль, пройшов послідовно  $n$  квадрантів комплексної площини і повернувся

на кут менше  $\frac{\pi}{2} n$ . При невиконанні цих умов САК буде нестійкою.

Приклади годографів Михайлова стійких САК для передаточних функцій від першого (n=1) до п'ятого (n=5) порядків показані на рис. 1.1.

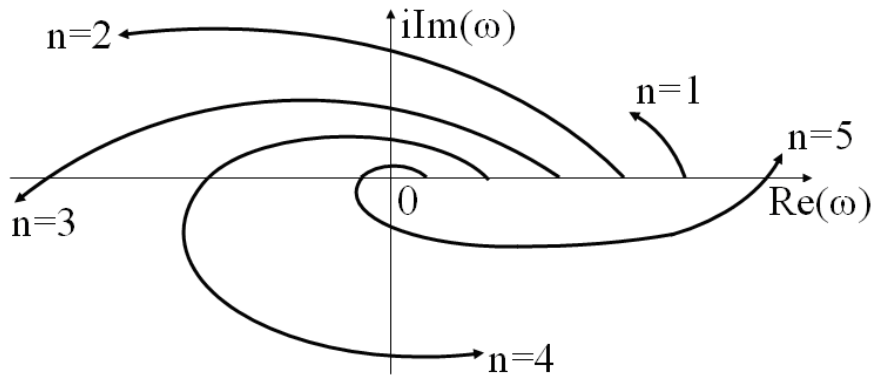


Рис. 1.1.

Приклади годографів Михайлова нестійких САК для передаточних функцій від другого (n=2) до п'ятого порядків показані на рис. 1.2.

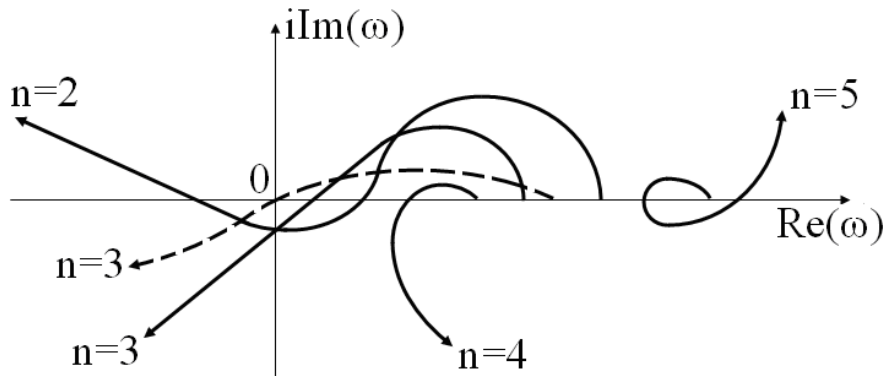


Рис. 1.2.

Умовно знаходження САК на межі стійкості є проходження годографа Михайлова через початок координат комплексної площини (на рис. 1.2 для n=3 – годограф показано пунктирною лінією).

1. Як приклади згідно з алгоритмом розглянемо розімкнуту і замкнену САК, які описані передаточними функціями  $W_p(p)$  і  $W_3(p)$  3-го порядку відповідно:

$$W_p(p) = \frac{T_3 p + k}{p (T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + T_3 p + k}; \quad (1.1)$$

$$W_3(p) = \frac{k}{p (T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + 2T_3 p + 2k}. \quad (1.2)$$

Виконавши операції множення і зведення подібних членів, отримуємо:

$$W_p(p) = \frac{T_3 p + k}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + (T_3 + 1) p + k}; \quad (1.3)$$

$$W_3(p) = \frac{k}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + (2T_3 + 1) p + 2k}. \quad (1.4)$$

2. Одержуємо нові функції:

$$G_p(p) = T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + (2T_3 + 1) p + 2k; \quad (1.5)$$

$$G_3(p) = T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + (2T_3 + 1) p + 2k. \quad (1.6)$$

Задавши значення коефіцієнтів

для  $G_p(p)$ :  $T_1=0,4$ ;  $T_2=0,01$ ;  $T_3=0,1$ ;  $k=20$ ;

для  $G_3(p)$ :  $T_1=0,09$ ;  $T_2=0,2$ ;  $T_3=0,1$ ;  $k=15$ ,

які підставляємо у (1.5) і (1.6), виконуємо множення і додавання, після чого одержуємо:

$$G_p(p) = 0,004p^3 + 0,41p^2 + 1,2p + 40; \quad (1.7)$$

$$G_3(p) = 0,018p^3 + 0,29p^2 + 1,2p + 30. \quad (1.8)$$

3. Оператор Лапласа  $p$  заміняємо добутком  $i \cdot \omega$ , тобто  $p = i \cdot \omega$ , отримуємо комплексні функції  $G_p(\omega)$  і  $G_3(\omega)$ , в яких виділяємо дійсні  $Re(\omega)$  й уявні  $Im(\omega)$  частини відповідно:

$$4. \quad G_p(\omega) = \frac{40 - 0,41\omega^2}{Re_p(\omega)} + i \frac{(1,2\omega - 0,004\omega^3)}{Im_p(\omega)}; \quad (1.9)$$

$$G_3(\omega) = \frac{30 - 0,29\omega^2}{Re_3(\omega)} + i \frac{(1,2\omega - 0,018\omega^3)}{Im_3(\omega)}. \quad (1.10)$$

5. В одержані комплексні функції  $G_p(\omega)$  і  $G_3(\omega)$  підставляємо значення  $\omega$  у межах від 0 до  $\infty$ , обчислюємо значення  $Re(\omega)$  і  $Im(\omega)$ . Результати наведено в табл. 1.1 і 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1

$\omega$	0	1	...	5	...	9,887	14	...	17,321	20	...	$\infty$
$Re_p(\omega)$	40	39,59		29,75		0	-40,36		-83,01	-124		$-\infty$
$Im_p(\omega)$	0	1,196		5,5		7,998	5,82		0	-8		$-\infty$

Таблиця 1.2

$\omega$	0	1	3	5	6	8,165	9	10,17	11	15	...	$\infty$
$\text{Re}_3(\omega)$	30	29,71	27,39	22,75	19,56	10,67	6,51	0	-5,1	-35,25		$\infty$
$\text{Im}_3(\omega)$	0	1,182	3,114	3,75	3,312	0	-2,32	-6,73	-10,1	-42,75		$\infty$

Для зменшення кількості значень  $\omega$  в межах від 0 до  $\infty$  і прискорення обчислення  $\text{Re}(\omega)$  і  $\text{Im}(\omega)$  в табл. 1.1 і 1.2 розраховано спочатку особливі значення  $\omega$ , при яких відповідні  $\text{Re}(\omega)$  і  $\text{Im}(\omega)$  дорівнюють нулю.

$$\text{Так, } \text{Re}_p(\omega)=40-0,41\omega^2=0; \omega=\sqrt{\frac{40}{0,41}}=9,887;$$

$$\text{Im}_p(\omega)=1,2\omega-0,004\omega^3=0;$$

$$\omega(1,2-0,004\omega^2)=0; \omega \neq 0; \omega=\sqrt{\frac{1,2}{0,004}}=17,321;$$

$$\text{Re}_3(\omega)=30-0,29\omega^2=0; \omega=\sqrt{\frac{30}{0,29}}=10,17;$$

$$\text{Im}_3(\omega)=1,2\omega-0,018\omega^3; \omega(1,2-0,018\omega^2)=0;$$

$$\omega \neq 0; \omega=\sqrt{\frac{1,2}{0,018}}=8,165.$$

6. За даними табл. 1.1 і 1.2 побудовані годографи Михайлова для  $G_p(\omega)$  (рис. 1.3) і  $G_3(\omega)$  (рис. 1.4).

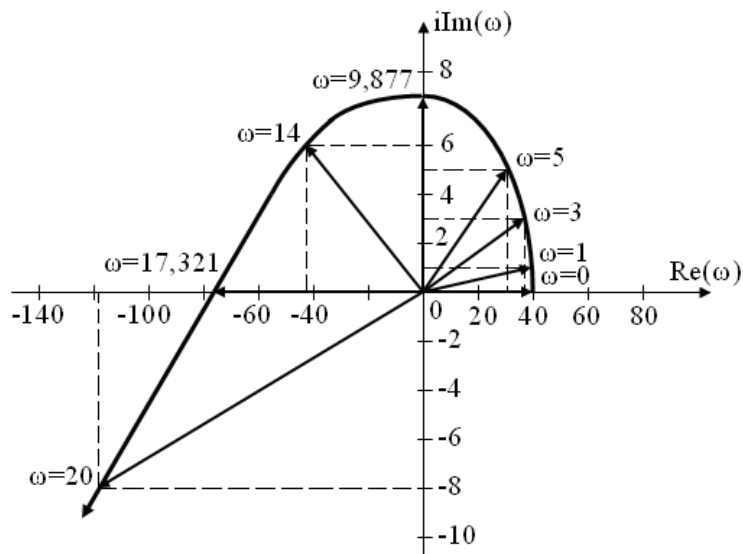


Рис. 1.3.

## ВИСНОВОК

Годограф Михайлова, побудований за даними табл. 1.1, відповідає стійкій САК, бо його радіус-вектор для передаточної функції третього порядку при зміні частоти від 0 до  $\infty$ , почавши обертання з точки, яка лежить на дійсній осі праворуч від нуля ( $\text{Re}_p(\omega) = 40$ ), обертаючись проти годинникової стрілки і ніде не перетворюючись в нуль, пройшов послідовно три квадранти комплексної площини і повернувся на кут менше  $3\frac{\pi}{2}$ .

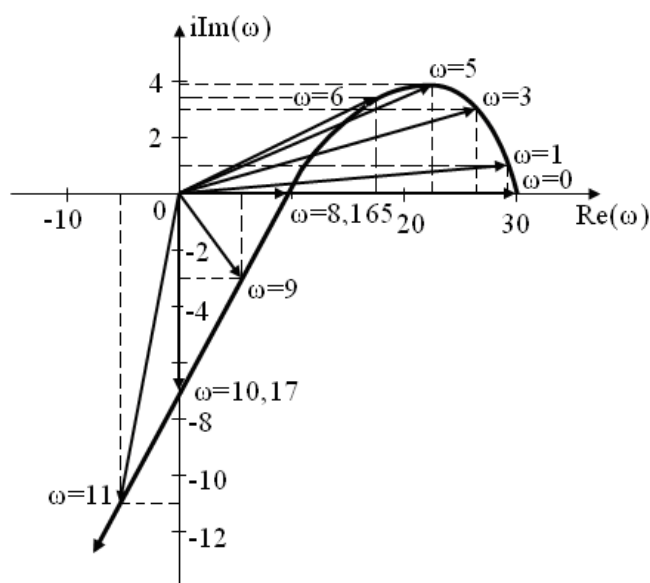


Рис. 1.4.

Годограф Михайлова, побудований за даними табл. 1.2, відповідає нестійкій САК, бо радіус-вектор годографа Михайлова для передаточної функції третього порядку при зміні частоти від 0 до  $\infty$ , почавши обертання з точки, яка лежить на дійсній осі праворуч від нуля ( $\text{Re}_z(\omega) = 30$ ), обертаючись проти годинникової стрілки і ніде не перетворюючись в нуль, не пройшов послідовно три квадранти комплексної площини і не повернувся на кут менше  $3\pi/2$ .

### 1.3. Контрольні запитання до практичного заняття №1

1. Що таке передаточна функція? Напишіть вираз передаточних функцій типових елементарних ланок САК.
2. Перелічіть основні частотні характеристики ланок.
3. Викладіть методику побудови годографа Михайлова.
4. Нарисуйте приклади годографів Михайлова стійких САК для передаточних функцій від першого до п'ятого порядків.
5. Нарисуйте приклади годографів Михайлова нестійких САК для передаточних функцій від другого до п'ятого порядків.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

### Аналіз лінійної системи автоматичного керування рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів (2 год. – для студентів 5 курсу денної форми навчання)

**2.1. Мета практичного заняття** – оволодіння навичками аналізу лінійної системи автоматичного керування (САК) рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів; визначити за варіантом контрольного завдання названі показники САК.

### 2.2. Алгоритм і приклад аналізу лінійної САК рівнем рідини

Аналіз лінійних САК виконують з метою дослідження їх на стійкість і якість. Ці дослідження проводять при наявності математичної моделі системи. Розглянемо приклад аналізу лінійної САК рівнем води. На рис. 3.1 показана структурна схема цієї системи (умовні графічні, літерні й цифрові зображення як на ФСА ТП) (див. [1], с. 13-17)

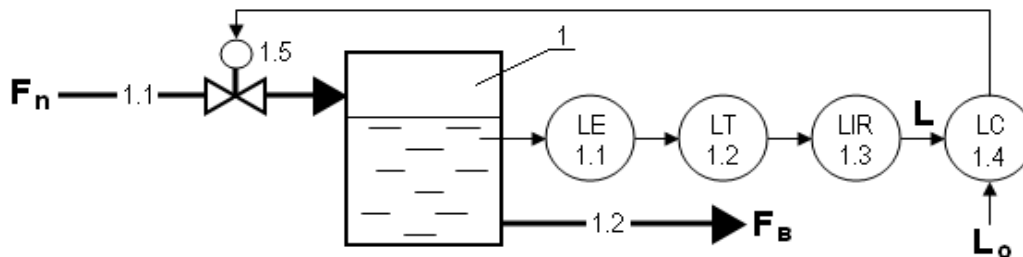


Рис. 2.1.

1- резервуар чистої води; 1.1 – чиста вода в резервуар; 1.2 – чиста вода споживачам;  $F_n$  – витрати води в резервуар (прихід);  $F_b$  – витрати води споживачам (витрачання);  $L_o$  – установлене значення рівня води в резервуарі;  $L$  – поточне значення рівня води в резервуарі; поз. 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 – відповідно ПП; ПрП; ВП; АР; ВМ.

Для отримання математичної моделі САК рівнем води в резервуарі введемо деякі необхідні обмеження і умови. Керування рівнем води в резервуарі проводять зміною приходу ( $F_n$ ) води в резервуар, при цьому витрачання води споживачами ( $F_b$ ) розглядається як зовнішні збурюючі впливи. АР розраховує різницю між  $L_o$  і  $L$ , тобто

$$Y=L_o-L \quad (2.1)$$

і керуючий вплив:

$$X_{\text{per}}=Y+a\frac{dY}{dt} \quad (2.2)$$

за пропорційно-диференціальним законом керування (ПД-регулятор) і видає його на ВМ, який механічно з'єднаний з РО для зміни приходу води ( $F_n$ ) в резервуар за рівнянням

$$\frac{dF_n}{dt}=K\cdot X_{\text{per}}, \quad (2.3)$$



тобто як диференціююча ТЕЛ. У цих рівняннях  $a$  і  $K$  – статичні додатні коефіцієнти передачі. Резервуар чистої води є лінійним об'єктом керування (ОК) через те, що площа його перерізу ( $S$ ) за висотою ( $L$ ) незмінна, а зміну об'єму води в ньому можна записати за рівнянням

$$S \cdot \frac{dL}{dt} = F_n - F_b, \quad (2.4)$$

тобто це рівняння є математичною моделлю ОК.

Для виведення математичної моделі лінійної САК вважаємо, що  $L_0$  і  $F_b$  за деякий проміжок часу є незмінними (статичними), тобто:  $L_0 = \text{const}$ ;  $F_b = \text{const}$ .

Після введення похідної від рівняння (2.1) запишемо:

$$dY/dt = -dL/dt, \quad (2.5)$$

підставимо це значення в (2.4), тоді:  $-S \cdot dY/dt = F_n - F_b$ . Після введення похідної від цього рівняння запишемо:

$$-S \frac{d^2Y}{dt^2} = \frac{dF_n}{dt}. \quad (2.6)$$

З урахуванням (3.3) і (3.4) і підстановкою їх в (3.6) маємо:

$$-S \frac{d^2Y}{dt^2} = K \left( Y + a \frac{dY}{dt} \right) \text{ або } S \frac{d^2Y}{dt^2} + K \cdot a \cdot \frac{dY}{dt} + KY = 0. \quad (2.7)$$

Це рівняння динаміки САК рівнем води у резервуарі у вигляді лінійного однорідного диференціального рівняння другого порядку або при заміні оператора диференціювання оператором Лапласа ( $d/dt=p$ ;  $d^2/dt^2=p^2$ ). За умови  $Y \neq 0$  запишемо:

$$S \cdot p^2 + K \cdot a \cdot p + K = 0. \quad (2.8)$$

Це характеристичне рівняння (див. [1], с. 31-32) другого порядку. Згідно з алгебраїчним критерієм стійкості Гурвіца (див. [1], с. 44-45) умови стійкості САК рівнем води в резервуарі формуються таким чином: усі корені характеристичного рівняння (2.8) будуть дійсними від'ємними або матимуть від'ємні дійсні частини, якщо при додатному знаку всіх коефіцієнтів  $S$ ,  $K \cdot a$ ,  $K$  будуть додатними головний визначник (детермінант) Гурвіца ( $\Delta_2 > 0$ ) і його діагональні мінори ( $\Delta > 0$ ,  $\Delta_0 > 0$ ). За цих умов САК 2-го порядку буде стійкою.

Головний визначник (детермінант) Гурвіца і його діагональні мінори запишемо:

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \begin{vmatrix} K \cdot a & 0 \\ S & K \end{vmatrix} > 0; \\ \Delta_1 &= K \cdot a > 0; \\ \Delta_0 &= S > 0. \end{aligned} \quad (2.9)$$

У САК рівнем води в резервуарі умови (2.9) виконуються, оскільки всі коефіцієнти  $S$ ,  $K$ ,  $a$  – додатні за визначенням, тому ця САК буде стійкою.

Що стосується якості цієї САК, то спочатку знаходять розв'язок диференціального рівняння (2.7) прямим методом, тоді

$$Y = C_1 e^{-\gamma_1 t} + C_2 e^{-\gamma_2 t}, \quad (2.10)$$

де  $C_1$ ,  $C_2$  – сталі інтегрування;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – корені характеристичного рівняння (2.8),

що залежать від значень  $S$ ,  $K$ ,  $a$ .

При дійсних від'ємних коренях  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  перехідний процес САК рівнем води в резервуарі буде аперіодичним, а при комплексних коренях з від'ємною дійсною частиною перехідний процес цієї системи буде затухаючим коливальним (див. [1], с. 31-33).

**Як приклади розглянемо визначення коренів характеристичного рівняння (2.8) за даними:**

**2.2.1.**  $S=5$  од. виміру,  $K=2$ ,  $a=10$ , тоді

$$5p^2+20p+2=0,$$

$$\gamma_{1,2}=\frac{-20\pm\sqrt{400-40}}{10}=\frac{-20\pm 18,97}{10};$$

$$\gamma_1=-3,897; \gamma_2=-0,103.$$

При дійсних від'ємних коренях характеристичного рівняння, тобто  $\gamma_1=-3,897$ ,  $\gamma_2=-0,103$ , перехідний процес САК рівнем води в резервуарі буде аперіодичним другого порядку.

**2.2.2.**  $S=20$  од. виміру,  $K=10$ ,  $a=1$ , тоді

$$20p^2+10p+10=0,$$

$$\gamma_{1,2}=\frac{-10\pm\sqrt{100-800}}{40}=\frac{-10\pm i26,458}{40};$$

$$\gamma_1=-0,25+i0,661; \gamma_2=-0,25-i0,661.$$

При комплексних коренях характеристичного рівняння з від'ємною дійсною частиною, тобто  $\gamma_1=-0,25+i0,661$ ,  $\gamma_2=-0,25-i0,661$ , перехідний процес САК рівнем води в резервуарі буде коливальним другого порядку.

### 2.3. Контрольні запитання до практичного заняття №2

1. Що розуміють під стійкою САК?
2. Що називають характеристичним рівнянням незбуреного (вільного) руху?
3. Сформулюйте алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца САК, яку описують характеристичним рівнянням 4-го порядку.
4. Визначіть основні показники якості САК.
5. З якою метою виконують аналіз лінійних САК?

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3**

**Розробка функціональних схем автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) на базі сучасних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА), в тому числі мікропроцесорного контролера (МПК) (12 год. – для студентів 5 курсу денної і 2 год. – для студентів 6 курсу заочної форм навчання))**

**3.1. Мета практичного заняття** – оволодіння навичками розробки ФСА ТП адресним методом деяких систем водопостачання та водовідведення на базі сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК.

### **3.2. Методика розробки ФСА ТП адресним методом**

Розробку ФСА ТП адресним методом (див. [1], с. 6-20) виконуємо за однаковою методикою:

- короткий опис фрагмента технологічного процесу, для якого повинна бути розроблена ФСА ТП;
- опис функцій, які треба реалізувати;
- обґрунтування вибору застосованих сучасних КВП та ЗА, в тому числі мікропроцесорного контролера (МПК) для реалізації функцій;
- повна назва систем автоматичного керування (САК) параметрами технологічного процесу;
- специфікація на КВП та ЗА;
- експлікація обладнання;
- умовні позначення матеріальних потоків;
- висновок.

Розробка систем автоматичного керування технологічними процесами пов'язана з інтенсифікацією технологічних режимів систем водопостачання і водовідведення. До основних споруд систем водопостачання відносять: насосні станції, реагентне господарство, відстійники, освітлювачі, фільтри, контактні освітлювачі, водоводи, мережі, резервуари тощо. До основних споруд систем водовідведення відносять: механічну очистку, обробку осадів, біохімічну очистку, мережі тощо.

Для систем водопостачання і водовідведення розглянемо розробку двох ФСА ТП. Без утрати спільності підходу до їх розробки через складні технологічні схеми будемо розглядати фрагменти технологічних процесів.

### **3.3. ФСА ТП фрагмента очищення стічних фенольних вод [1-3]**

#### *3.3.1. Короткий опис технологічного процесу*

Розроблена ФСА ТП наведена на рис. 3.1.

Стічна фенольна вода (1.1) після попередніх апаратів надходить в преаератор (1), в який подають також розчин коагулянту (28) і повітря (3.1). Для інтенсифікації технологічних процесів у преаераторі (1) необхідно реалізувати контроль витрат стічної фенольної води (1.1) і розчину коагулянту (28) і керування їх співвідношенням зміною витрат розчину коагулянту (28) з корекцією за величиною рН води (1.2) в смоловідстійник (2). Вода (1.2) надходить в смоловідстійник (2), де відбувається механічне очищення її від смол, масел тощо. Освітлену воду (1.3) насосом (3) з електродвигуном подачі цієї води подають у флотатор (4), в який надходить розчин флокулянту (29). Для інтенсифікації технологічних процесів у флотаторі (4) необхідно реалізувати контроль витрат освітленої води (1.3) і розчину флокулянту (29) і керування їх співвідношенням зміною витрат розчину флокулянту (29). Окрім того треба виконати контроль тиску в нагнітальному патрубку насоса (3) подачі освітленої води у флотатор (4) і керування ним зміною обертів електродвигуна цього насоса.

Воду (1.4) після флотатора (4) подають в усереднювач – теплообмінник (5), в який надходить також розчин ортофосфornoї кислоти (30). Для виконання хімічних реакцій необхідно реалізувати контроль витрат цих потоків і керування їх співвідношенням зміною витрат розчину ортофосфornoї кислоти (30) з корекцією за величиною рН усередненої води (1.5) в аеротенк (6). Окрім того, усереднювач-теплообмінник (5) повинен забезпечити заданий температурний режим протікання хімічних реакцій, для цього треба реалізувати контроль температур води (1.4) після флотатора (4) і усередненої води (1.5) в аеротенк (6) і керування різницею цих температур зміною витрат холодної води (1.6) на усереднювач-теплообмінник (5). Усереднену воду (1.5) подають в аеротенк (6), в який надходять повітря (3.2) і активний мул (31). Для інтенсифікації процесів у ньому необхідно реалізувати контроль витрат повітря (3.2) і активного мулу (31) і керування їх співвідношенням зміною витрати повітря (3.2). Вода (1.7) з мулом після аеротенка (6) надходить у вторинний відстійник (7), в якому накопичується активний мул (31), рівень якого необхідно контролювати і при виході його за допустиме регламентне значення відводити активний мул (31) в аеротенк (6).

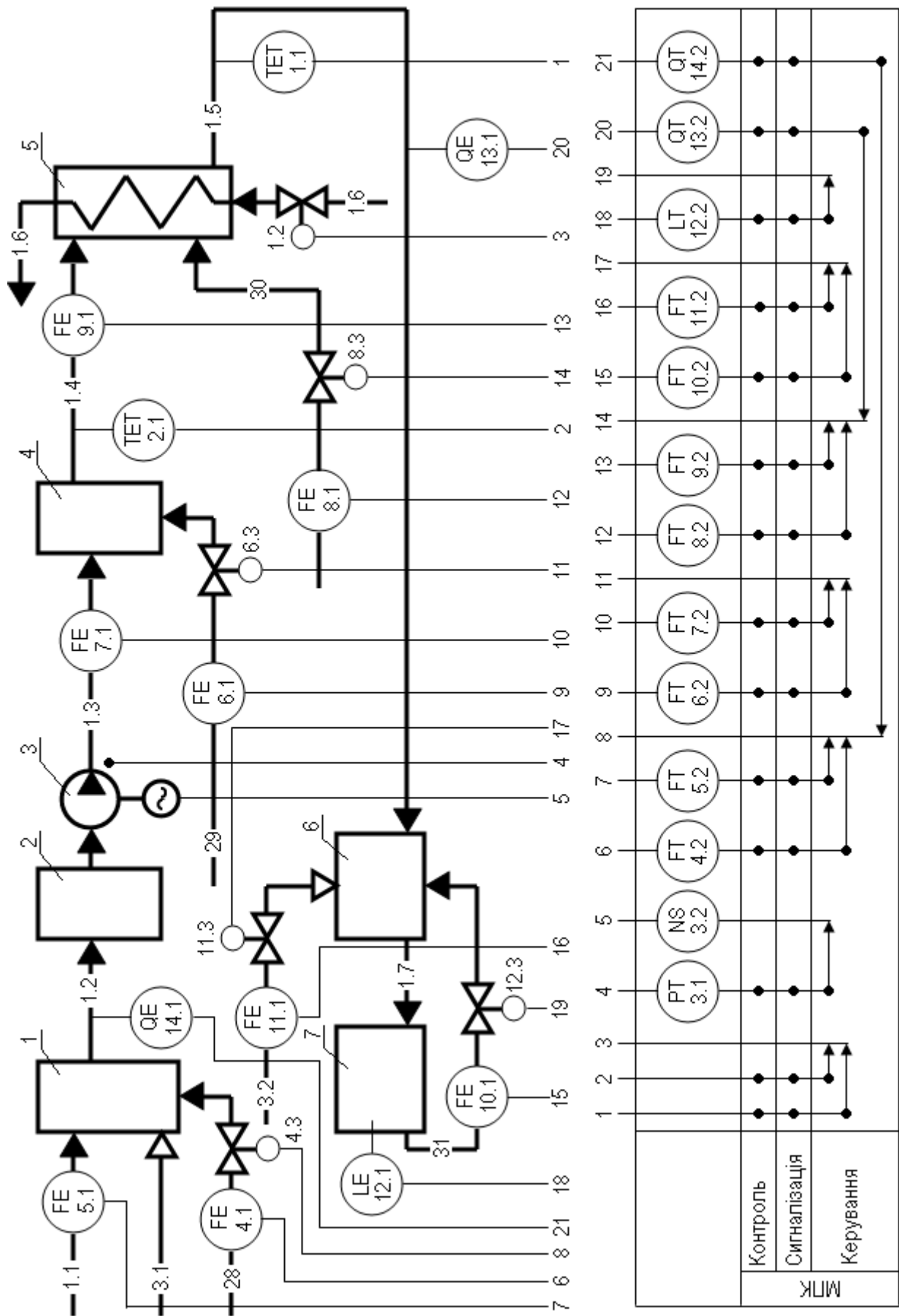


Рис. 3.1.

### 3.3.2. *Опис функцій, які треба реалізувати*

Для розробки ФСА ТП цього фрагмента технологічних процесів очищення стічних фенольних вод необхідно виконати такі функції:

- автоматичні контроль температур води після флотатора і усередненої води в аеротенк, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування різницею цих температур зміною витрат холодної води на усереднювач-тепловідстійник;
- автоматичні контроль тиску в нагнітальному патрубку насоса подачі освітленої води у флотатор, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування тиском зміною обертів електродвигуна цього насоса;
- автоматичні контроль витрат стічної фенольної води і розчину коагулянту в преаератор, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування співвідношенням цих витрат зміною витрати розчину коагулянту з корекцією за величиною рН води в смоловідстійник;
- автоматичні контроль витрат освітленої води і розчину флокулянту в флотатор, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування співвідношенням цих витрат зміною витрати розчину флокулянту;
- автоматичні контроль витрат після флотатора і розчину ортофосфатної кислоти в усереднювач-теплообмінник, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування співвідношенням цих витрат зміною витрат розчину ортофосфатної кислоти з корекцією за величиною рН усередненої води в аеротенк;
- автоматичні контроль витрат повітря і активного мулу в аеротенк, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування співвідношенням цих витрат зміною витрати повітря;
- автоматичні контроль рівня активного мулу у вторинному відстійнику, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на відведення мулу з цього відстійника при необхідності.

### 4.3.3. *Обґрунтування вибору застосованих сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК [1]*

Для реалізації вказаних функцій фрагмента ФСА ТП очищення стічних фенольних вод застосовано багатфункціональний мікропроцесорний контролер (МПК) типу РЕМІКОНТ Р-2000, основні технічні характеристики якого наведено в підрозділі 4.7.

Для автоматичного контролю температур води після флотатора і усередненої води в аеротенк як первинно-передавальний (ПП/ПрП) перетворювач застосовано термоперетворювач опору мідний з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА типу КВАНТ ДТ.1 (поз. 1.1; 2.1) (див. підрозділ 4.1). Сигнали від них надходять на входи МПК, який за алгоритмом

«контроль температури» перетворює ці сигнали в значення температури в °С. Якщо значення цих температур виходять за допустимі регламентні значення, МПК за алгоритмом «технологічна сигналізація температури» видає світлові або/і звукові сигнали, реєструє ці значення на лицьовій панелі контролера. У цей саме час МПК за алгоритмом «розрахунок і видача керуючих впливів» розраховує ці впливи і вони надходять на виконавчий механізм (ВМ) (поз. 1.2), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю тиску в нагнітальному патрубку насоса подачі освітленої води у флотатор як передавальний перетворювач (ПрП) застосовано вимірювальний тензорезисторний перетворювач надлишкового тиску типу КВАНТ ДИ.11 (поз. 3.1) з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА (див. підрозділ 4.2). Сигнали від цього ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами як для температури тільки для тиску, виконує необхідні функції, значення тиску видає в Па (кПа, МПа), а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 3.2), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю витрат стічної фенольної води, розчинів коагулянту і флокулянту, освітленої води, розчину ортофосфорної кислоти, води після флотатора, активного мулу і повітря як первинний перетворювач (ПП) застосовано діафрагми камерні з фланцевим способом відбору перепаду тиску на них типу ДК-0,6 (поз. 4.1; 5.1; 6.1; 7.1; 8.1; 9.1; 10.1; 11.1) (див. підрозділ 4.3), сигнали від яких надходять на ПрП, в якості яких застосовано вимірювальні тензорезисторні перетворювачі перепаду тиску на цих діафрагмах типу КВАНТ ДД.12 (поз. 4.2; 5.2; 6.2; 7.2; 8.2; 9.2; 10.2; 11.2) з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА (див. підрозділ 4.2). Сигнали від цих ПрП надходять на входи МПК, який за відповідними алгоритмами як для температури, тільки для витрати виконує необхідні функції, значення витрат видає в м<sup>3</sup>/г, а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 4.3; 6.3; 8.3; 11.3), обґрунтування вибору яких наведено далі.

Для автоматичного контролю рівня активного мулу у вторинному відстійнику як ПП застосовано автоматичний рівнемір осаду цього мулу типу СУФ-210 (поз. 12.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від нього надходять на ПрП (поз. 12.2), обґрунтування вибору якого наведено далі. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами як для температури, тільки для рівня цього мулу виконує необхідні функції, значення рівня видає в мм(м), а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 7.3), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю величин рН води в смоловідстійник і усередненої води в аеротенк як ПП застосовано автоматичні рН-метри типу рН-261 (поз. 13.1; 14.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від яких надходять на ПрП (поз. 13.2; 14.2), обґрунтування вибору яких наведено далі. Сигнали від цих ПрП надходять на входи МПК, який за відповідними алгоритмами як для температури тільки для величини рН виконує необхідні функції, значення рН видає у відповідних одиницях виміру, а значення коригуючих впливів надходять на ВМ (поз. 4.3; 8.3), обґрунтування вибору яких наведено далі.

Як ПрП для переутворення сигналів від ПП (поз. 12.1; 13.1; 14.1) застосовано нормуючий перетворювач з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА типу Ш-703 (поз. 12.2; 13.2; 14.2) (див. підрозділ 4.1).

Для автоматичних зміни величини витрат матеріальних потоків, припинення або відновлення їх як ВМ застосовано електричний однообертовий двигун з гальмом, який механічно з'єднаний з регулюючим органом, типу МЕО-1 (поз. 1.2; 6.3; 8.3; 11.3; 12.3) (див. підрозділ 4.6).

Для автоматичних пуску/зупинки електродвигуна насоса освітленої води у флотатор або зміни його обертів як ВМ застосовано пускач магнітоелектричний типу ПМЕ в комплекті (поз. 3.2) (див. підрозділ 4.6).

Умовне зображення на рис. 3.1 функцій, які реалізовано МПК РЕМІКОНТ Р-2000, показано колами Ø 2 мм (зафарбовано).

### 3.3.4. Повна назва систем автоматичного керування параметрами технологічного процесу

У зв'язку з тим, що вище детально описано фрагмент технологічного процесу очищення стічних фенольних вод, функції, які реалізує ФСА ТП, обґрунтування вибору сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК, шляхи проходження сигналів від ПП через ПрП, ПП/ПрП або ПрП до МПК, а керуючих впливів від МПК до ВМ, наведемо тільки повну назву всіх систем автоматичного керування (САК) (в порядку, як описано функції), основні елементи САК, їх позиції і типи КВП та ЗА.

1. САК різницею температур води після флотатора і усередненої води в аеротенк зміною витрат холодної води на усереднювач-теплообмінник:

ПП./ПрП  $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 1.1} \\ \text{поз. 2.1} \end{array} \right\}$  – КВАНТ ДТ.1;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 1.2 – МЕО-1.

2. САК тиском в нагнітальному патрубку насоса подачі освітленої води у флотатор зміною обертів електродвигуна цього насоса:

ПрП – поз. 3.1 – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 3.2 – ПМЕ.

3. САК співвідношення витрат стічної фенольної води і розчину коагулянту в преаератор зміною витрати розчину коагулянту з корекцією за величиною рН води в смоловідстійник:

ПП  $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 4.1} \\ \text{поз. 5.1} \\ \text{поз. 14.1} \end{array} \right\}$  – ДК-0,6;  
– рН-261;

ПрП  $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 4.2} \\ \text{поз. 5.2} \\ \text{поз. 14.2} \end{array} \right\}$  – КВАНТ ДД.12;  
– Ш-703;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 4.3 – МЕО-1.



4. САК співвідношенням витрат освітленої води і розчину флокулянту у флотатор змінюю витрати розчину флокулянту:

$$\text{ПП} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.1} \\ \text{поз. 7.1} \end{array} \right\} - \text{ДК-0,6};$$

$$\text{ПрП} \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.2} \\ \text{поз. 7.2} \end{array} \right\} - \text{КВАНТ}$$

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 6.3 – МЕО-1.

5. САК співвідношення витрат води після флотатора і розчину ортофосфорної кислоти в усереднювач-теплообмінник змінюю витрати розчину ортофосфорної кислоти з корекцією за величиною рН усередненої води в аеротенк:

$$\text{ПП} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 8.1} \\ \text{поз. 9.1} \\ \text{поз. 13.1} \end{array} \right\} - \text{ДК-0,6};$$

$$\text{ПрП} \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 8.2} \\ \text{поз. 9.2} \\ \text{поз. 13.2} \end{array} \right\} - \text{КВАНТ ДД.12};$$

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 8.3 – МЕО-1.

6. САК співвідношенням витрат повітря і активного мулу в аеротенк змінюю витрат повітря:

$$\text{ПП} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 10.1} \\ \text{поз. 11.1} \end{array} \right\} - \text{ДК-0,6};$$

$$\text{ПрП} \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 10.2} \\ \text{поз. 11.2} \end{array} \right\} - \text{КВАНТ}$$

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 11.3 – МЕО-1.

7. САК рівнем активного мулу у вторинному відстійнику відводом цього мулу з відстійника при необхідності:

ПП – поз. 12.1 – СУФ-210;

ПрП – поз. 12.2 – Ш-703;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 12.3 – МЕО-1.

### 3.3.5. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА КВП ТА ЗА

№ позицій приладів на ФСА ТП	Назва приладу	Тип приладу	Кількість
1.1; 2.1	Термоперетворювач опору мідний з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	КВАНТ ДТ.1	4
3.1	Вимірювальний тензорезисторний перетворювач надлишкового тиску з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	КВАНТ ДИ.11	2
4.1; 5.1; 6.1; 7.1; 8.1; 9.1; 10.1; 11.1	Діафрагма камерна з фланцевим способом відбору перепаду тиску на ній	ДК-0,6	16
4.2; 5.2; 6.2; 7.2; 8.2; 9.2; 10.2; 11.2	Вимірювальний тензорезисторний перетворювач перепаду тиску на діафрагмі камерній з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	КВАНТ ДД.12	16
12.1	Автоматичний рівнемір осаду активного мулу	СУФ-210	2
13.1; 14.1	Автоматичний рН-метр	рН-261	3
12.2; 13.2; 14.2	Нормуючий перетворювач з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	Ш-703	5
1.2; 4.3; 6.3; 8.3; 11.3; 12.3	Електричний однообертвий двигун з гальмом, який механічно з'єднаний з регулюючим органом	МЕО-1	12
3.2	Магнітоелектричний пускач у комплекті	ПМЕ	2
Багатофункціональний мікропроцесорний контролер (МПК)		РЕМІКОНТ Р-2000	1

### 3.3.6. ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

№ п/п	Назва обладнання	Кількість	Примітка
1	Преаератор	1	
2	Смоловідстійник	4	
3	Насос з електродвигуном подачі освітленої води в флотатор	2	
4	Флотатор	2	
5	Усереднювач-теплообмінник	2	
6	Аеротенк	3	
7	Вторинний відстійник	2	

### 3.3.7. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

- 1.1 – стічна фенольна вода в преаератор
- 1.2 – вода в смоловідстійник
- 1.3 – освітлена вода у флотатор
- 1.4 – вода після флотатора
- 1.5 – усереднена вода в аеротенк
- 1.6 – холодна вода до і після усереднювача-теплообмінника
- 1.7 – вода з мулом після аеротенка
- 3.1 – повітря в преаератор
- 3.2 – повітря в аеротенк
- 28 – розчин коагулянту
- 29 – розчин флокулянту
- 30 – розчин ортофосфорної кислоти
- 31 – активний мул

### ВИСНОВОК

Розроблена ФСА ТП очищення стічних фенольних вод сприяє підвищенню продуктивності обладнання споруд на 15-20% і поліпшенню умов праці обслуговуючого персоналу.

### **3.4. ФСА ТП фрагмента очищення стічних вод каналізаційних споруд [1-3]**

#### *3.4.1. Короткий опис технологічного процесу*

Розроблена ФСА ТП подана на рис. 3.2. Освітлені стоки (1.1) після попередніх апаратів надходять в аеротенк чотирикоридорний (1), де відбувається технологічний процес біологічного очищення їх в суміші циркулюючого активного мулу (28), який подають насосом (2) з електродвигуном подачі цього мулу, і кисню, який поступає з повітрям (3), яке подають компресором (3) з електродвигуном. Для інтенсифікації технологічних процесів біологічного очищення освітлених стоків, що відбуваються в аеротенку (1), необхідно контролювати витрати освітленої води (1.1) і повітря (3) і керувати їх співвідношенням зміною витрат повітря з корекцією за наявністю біохімічної потреби в кисні (БПК) у воді з активним мулом (1.2) після нього. Для забезпечення нормальної роботи насоса (2) подачі циркулюючого активного мулу і компресора (3) подачі повітря (3) в аеротенк (1) необхідно реалізовувати контроль тиску в їх нагнітальних патрубках і керування цими тисками зміною обертів відповідних електродвигунів.

Вода з активним мулом (1.2) після аеротенка (1) надходить у вторинний радіальний відстійник (4), де відбувається відокремлення надлишкового активного мулу (29), рівень якого треба контролювати і при виході його за допустиме регламентне значення відводити насосом (5) з електродвигуном. Під час роботи насоса (5) необхідно реалізувати контроль тиску в його нагнітальному патрубку і керування ним зміною обертів його електродвигуна.

Після вторинного радіального відстійника (4) очищена вода (1.3) надходить у контактний резервуар (6) для знезараження. Знезараження виконують рідким хлором (30), який подають у контактний резервуар (6), тому треба реалізувати контроль витрат рідкого хлору (30) і керування зміною цієї витрати з корекцією за концентрацією залишкового хлору в знезараженій воді (1.4) після цього резервуару (6). Окрім того в контактному резервуарі накопичуються нерозчинені речовини (31), які потрібно час від часу відводити, тому необхідно контролювати рівень цих речовин (31).

Знезаражена вода (1.4) надходить у річку (на ФСА ТП немає).

#### *3.4.2. Опис функцій, які треба реалізовувати*

Для розробки ФСА ТП цього фрагмента технологічних процесів очищення стічних вод каналізаційних споруд слід виконати такі функції:

- автоматичні контроль тиску в нагнітальному патрубку насоса подачі циркулюючого активного мулу в аеротенк, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування тиском зміною обертів електродвигуна цього насоса;

- автоматичні контроль тиску в нагнітальному патрубку компресора подачі повітря в аеротенк, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування тиском зміною обертів електродвигуна цього компресора;

- автоматичні контроль тиску в нагнітальному патрубку насоса відводу надлишкового активного мулу із вторинного радіального відстійника під час його роботи, технологічна сигналізація при виході тиску за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування тиском зміною обертів електродвигуна цього насоса;

- автоматичні контроль витрат освітленої води і повітря в аеротенк, технологічна сигналізація при виході їх за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування співвідношенням цих витрат зміною обертів електродвигуна компресора подачі повітря з корекцією за наявністю БПК у воді з активним мулом після аеротенку;

- автоматичні контроль витрат рідкого хлору в контактний резервуар, технологічна сигналізація при виході її за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування цією витратою зміною її з корекцією за концентрацією залишкового хлору в знезараженій воді після контактного резервуару;

- автоматичні контроль рівня активного мулу в вторинному радіальному відстійнику, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на автоматичні пуск/зупинку електродвигуна насоса відводу надлишкового активного мулу з цього відстійника при необхідності;

- автоматичні контроль рівня нерозчинених речовин у контактному резервуарі, технологічна сигналізація при виході його за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на відведення цих речовин з нього при необхідності.

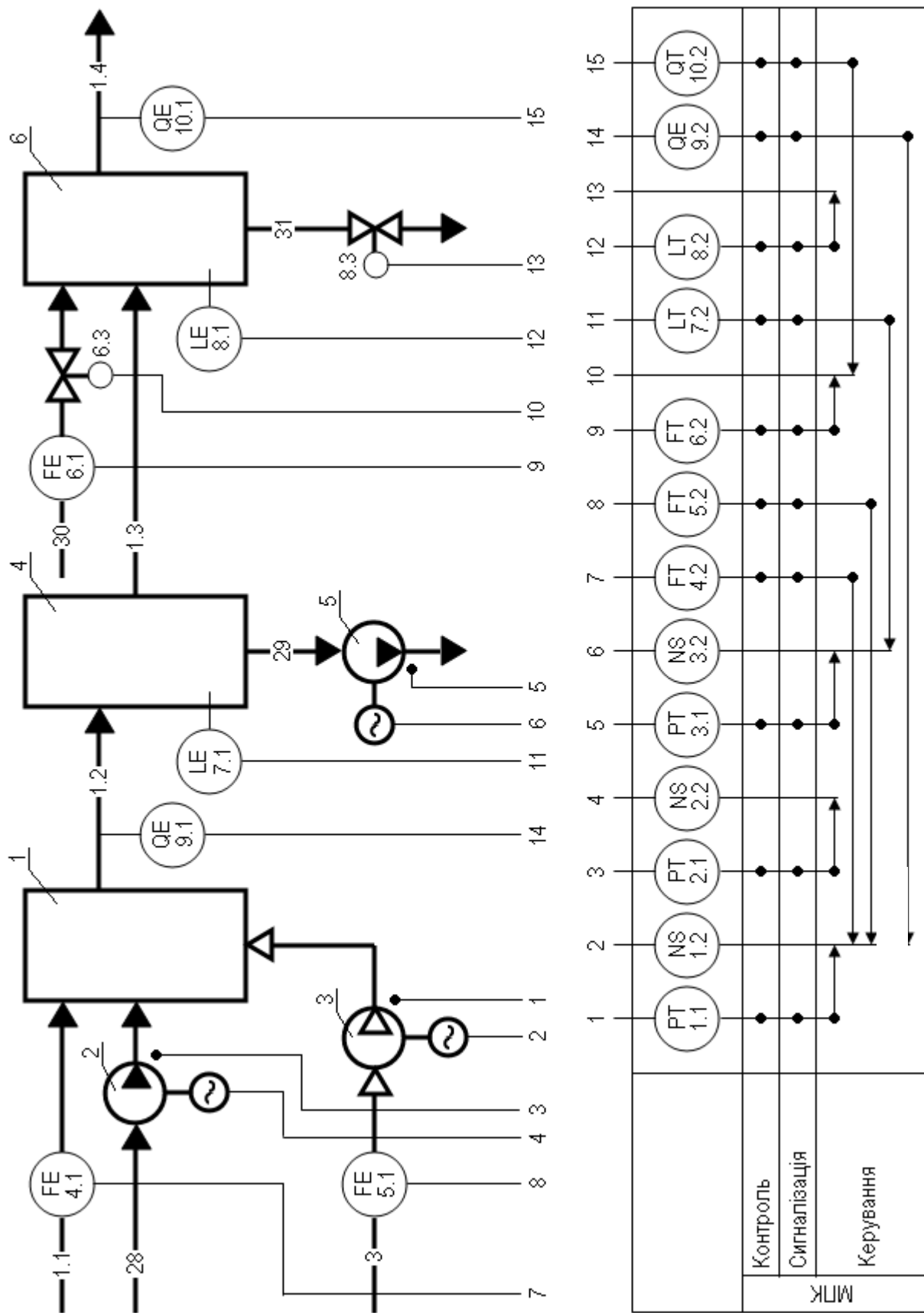


Рис. 3.2.

### 3.4.3. Обґрунтування вибору застосованих сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК [1].

Для виконання вказаних функцій фрагмента ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд застосовано багатофункціональний мікропроцесорний контролер (МПК) типу РЕМІКОНТ Р-2000, основні технічні характеристики якого наведено в підрозділі 4.7.

Для автоматичного контролю тиску в нагнітальних патрубках відповідних насосів і компресора як передавальний перетворювач (ПрП) застосовано вимірювальні тензорезисторні перетворювачі надлишкового тиску типу КВАНТ ДИ.11 (поз. 1.1; 2.1; 3.1) з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА (див. підрозділ 4.1). Сигнали від цих ПрП надходять на входи МПК, який за алгоритмом «контроль тиску» перетворює ці сигнали в значення тиску в Па (кПа, МПа). Якщо значення тиску виходять за допустимі регламентні значення, МПК за алгоритмом «технологічна сигналізація тиску – видає світлові або/і звукові сигнали, реєструє ці значення на лицьовій панелі контролера. В цей саме час МПК за алгоритмом «розрахунок і видача керуючих впливів» розраховує ці впливи і вони надходять на відповідні виконавчі механізми (ВМ) (поз. 1.2; 2.2; 3.2), обґрунтування вибору яких наведено далі.

Для автоматичного контролю витрат освітлених стоків, повітря і рідкого хлору як первинний перетворювач (ПП) застосовано діафрагми камерні з фланцевим способом відбору перепаду тиску на них типу ДК-0,6 (поз. 4.1; 5.1; 6.1) (див. підрозділ 4.3), сигнали від цих надходять на ПрП, в якості яких застосовано вимірювальні тензорезисторні перетворювачі перепаду тиску на цих діафрагмах типу КВАНТ ДД 12 (поз. 4.2; 5.2; 6.2) з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА (див. підрозділ 4.2). Сигнали від цих ПрП надходять на входи МПК, який за відповідними алгоритмами, як для тиску, тільки для витрати, виконує необхідні функції, значення витрат видає в м<sup>3</sup>/г, а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 1.2; 6.3), обґрунтування вибору яких наведено далі.

Для автоматичного контролю рівня надлишкового активного мулу у вторинному радіальному відстійнику як ПП застосовано автоматичний рівнемір осаду активного мулу типу СУФ-210 (поз. 7.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від нього надходять на ПрП (поз. 7.2), обґрунтування вибору якого наведено далі. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами, як для тиску, тільки для рівня цього мулу виконує необхідні функції, значення рівня видає в мм(м), а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 3.2), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю рівня нерозчинних речовин у контактному резервуарі як ПП застосовано рівномір цих речовин типу СУ-101(поз. 8.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від якого надходять на ПрП (поз. 8.2), обґрунтування вибору якого наведено далі. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами, як для тиску, тільки для рівня цих речовин виконує необхідні функції, значення рівня видає в мм(м), а значення керуючих впливів надходять на ВМ (поз. 8.3), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю наявності БПК у воді і активному мулу після аеротенку як ПП застосовано електрохімічний визначник, БПК у воді типу ЭХО-2 (поз. 9.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від якого надходять на ПрП (поз. 9.2), обґрунтування вибору якого наведено далі. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами, як для тиску, тільки для визначення БПК у воді, виконує необхідні функції, значення БПК у воді видає в відповідних одиницях виміру, а значення коригуючих впливів надходять на ВМ (поз. 1.2), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Для автоматичного контролю концентрації залишкового хлору в знезараженій воді як ПП застосовано концентратомір цього хлору типу КОХ-2 (поз. 10.1) (див. ДОДАТОК 1), сигнали від якого надходять на ПрП (поз. 10.2), обґрунтування вибору якого наведено далі. Сигнали від ПрП надходять на вхід МПК, який за відповідними алгоритмами, як для тиску, тільки для концентрації цього хлору, виконує необхідні функції, значення концентрації хлору видає в відповідних одиницях виміру, а значення коригуючих впливів надходять на ВМ (поз. 6.3), обґрунтування вибору якого наведено далі.

Як ПрП для перетворення сигналів від ПП (поз. 7.1; 8.1; 9.1; 10.1) застосовано нормуючий перетворювач з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА типу Ш-703 (поз. 7.2; 8.2; 9.2; 10.2) (див. підрозділ 4.1).

Для автоматичних пуску/зупинки електродвигунів насосів і компресора або зміни їх обертів як ВМ застосовано пускач магнітоелектричний типу ПМЕ в комплекті (поз. 1.2; 2.2; 3.2) (див. підрозділ 4.6).

Для автоматичних зміни величини витрат матеріальних потоків, припинення або відновлення їх як ВМ застосовано електричний однообертовий двигун із гальмом, який механічно з'єднано з регулюючим органом, типу МЕО-1 (поз. 6.3; 8.3) (див. підрозділ 4.6).

Умовне зображення на рис. 6.2 функцій, які реалізовано МПК РЕМІКОНТ Р-2000, показано колами Ø 2 мм (зафарбовано).

#### *3.4.4. Повна назва систем автоматичного керування параметрами технологічного процесу*

У зв'язку з тим, що вище детально описано фрагмент технологічного процесу очищення стічних вод каналізаційних споруд, функції, які реалізує ФСА ТП, обґрунтування вибору сучасних КВП та ЗА, в тому числі МПК, шляхи проходження сигналів від ПП через ПрП або ПрП до МПК, а керуючих впливів від МПК до ВМ, наведемо тільки повну назву всіх систем автоматичного керування (САК) (в порядку, як описано функції), основні елементи САК, їх позиції і типи КВП та ЗА.

1. САК тиском в нагнітальному патрубку насоса подачі циркулюючого активного мулу в аеротенк зміною обертів електродвигуна цього насоса:

ПрП – поз. 1.1 – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 1.2 – ПМЕ.

2. САК тиском в нагнітальному патрубку компресора подачі повітря в аеротенк зміною обертів електродвигуна цього компресора:

ПрП – поз. 2.1 – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 2.2 – ПМЕ.

3. САК тиском в нагнітальному патрубку насоса відводу надлишкового активного мулу із вторинного радіального відстійника під час його роботи зміною обертів електродвигуна цього насоса:

ПрП – поз. 3.1 – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 3.2 – ПМЕ.

4. САК співвідношенням витрат освітленої води і повітря в аеротенк зміною обертів електродвигуна компресора подачі повітря з корекцією за наявністю БПК у воді з активним мулом після аеротенку:

$$\text{ПП} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 4.1} \\ \text{поз. 5.1} \\ \text{поз. 9.1} \end{array} \right\} - \text{ДК-0,6};$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 5.1} \\ \text{поз. 9.1} \end{array} \right\} - \text{ЭХО-2};$$
$$\text{ПрП} \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 4.2} \\ \text{поз. 5.2} \\ \text{поз. 9.2} \end{array} \right\} - \text{КВАНТ ДД.12};$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 5.2} \\ \text{поз. 9.2} \end{array} \right\} - \text{Ш-703};$$

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 2.2.

5. САК витратою рідкого хлору в контактний резервуар зміною цієї витрати з корекцією за концентрацією залишкового хлору в знезараженій воді після контактного резервуару:

$$\text{ПП} - \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.1} \\ \text{поз. 10.1} \end{array} \right\} - \text{ДК-0,6};$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.1} \\ \text{поз. 10.1} \end{array} \right\} - \text{КОХ-2};$$
$$\text{ПрП} \left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.2} \\ \text{поз. 10.2} \end{array} \right\} - \text{КВАНТ ДД.12};$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 6.2} \\ \text{поз. 10.2} \end{array} \right\} - \text{Ш-703};$$

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 6.3 – МЕО-1.

6. САК рівнем активного мулу у вторинному радіальному відстійнику з автоматичними пуском/зупинкою електродвигуна насоса відводу надлишкового активного мулу з цього відстійника при необхідності:

ПП. – поз. 7.1 – СУФ-210;

ПрП – поз. 7.2 – Ш-703;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 3.2 – ПМЕ.



7. САК рівнем нерозчинених речовин у контактному резервуарі відводом цих речовин з резервуара при необхідності:

ПП. – поз. 8.1 – СУ-101;

ПрП – поз. 8.2 – Ш-703;

МПК – РЕМІКОНТ Р-2000;

ВМ – поз. 8.3 – МЕО-1.

### 3.4.5. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА КВП ТА ЗА

№ позицій приладів на ФСА ТП	Назва приладу	Тип приладу	Кількість
1	2	3	4
1.1; 2.1; 3.1	Вимірювальний тензорезисторний перетворювач надлишкового тиску з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	КВАНТ ДИ.11	9
4.1; 5.1; 6.1	Діафрагма камерна з фланцевим способом відбору перепаду тиску на ній	ДК-0,6	6
4.2; 5.2; 6.2	Вимірювальний тензорезисторний перетворювач перепаду тиску на діафрагмі камерній з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	КВАНТ ДД.12	6
7.1	Автоматичний рівнемір осаду активного мулу	СУФ-210	2
8.1	Автоматичний рівнемір осаду нерозчинних речовин у воді	СУ-101	2
9.1	Автоматичний електрохімічний визначник БПК у воді	ЭХО-2	2
10.1	Автоматичний концентратомір залишкового хлору в воді	КОХ-2	2
7.2; 8.2; 9.2; 10.2	Нормуючий перетворювач з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму, 4-20 мА	Ш-703	8
1.2; 2.2; 3.2	Магнітоелектричний пускач в комплекті	ПМЕ	9
6.3; 8.3	Електричний однообертовий двигун з гальмом, який механічно з'єднаний з регулюючим органом	МЕО-1	4
Багатофункціональний мікропроцесорний контролер (МПК)		РЕМІКОНТ Р-2000	1

### 3.4.6. ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

№ п/п	Назва обладнання	Кількість	Примітка
1	Аеротенк	2	
2	Насос з електродвигуном подачі циркулюючого активного мулу в аеротенк	2	
3	Компресор з електродвигуном подачі повітря в аеротенк	5	
4	Вторинний радіальний відстійник	2	
5	Насос з електродвигуном відводу надлишкового активного мулу з вторинного радіального відстійника	2	
6	Контактний резервуар	2	

### 3.4.7. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ

- 1.1 – освітлені стоки в аеротенк
- 1.2 – вода з активним мулом після аеротенку
- 1.3 – очищена вода після вторинного радіального відстійника
- 1.4 – знезаражена вода
- 3 – повітря в аеротенк
- 28 – циркулюючий активний мул до аеротенку
- 29 – надлишковий активний мул після вторинного радіального відстійника
- 30 – рідкий хлор у контактний резервуар
- 31 – нерозчинні речовини з контактного резервуару

### ВИСНОВОК

Розроблена ФСА ТП очищення стічних вод каналізаційних споруд сприяє підвищенню продуктивності обладнання споруд на 15-20% і поліпшенню умов праці обслуговуючого персоналу.

### 3.5. Контрольні запитання до практичного заняття №3

1. Яким методом розроблені ФСА ТП в підрозділах 3.3 і 3.4 і чому?
2. Нарисуйте ФСА ТП фрагмента очищення стічних фенольних вод із застосуванням МПК РЕМІКОНТ Р-2000.
3. Які функції реалізовано при ФСА ТП за п. 2?
4. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП за п. 2.
5. Назвіть повні назви систем автоматичного керування, їх основні елементи та позиції цих елементів для ФСА ТП за п. 2.
6. Нарисуйте ФСА ТП фрагмента очищення стічних вод каналізаційних споруд із застосуванням МПК типу РЕМІКОНТ Р-2000.
7. Які функції реалізовано при розробці ФСА ТП за п. 6?
8. Назвіть сучасні КВП та ЗА, які застосовано при розробці ФСА ТП за п. 6.
9. Назвіть повні назви систем автоматичного керування, їх основні елементи та позиції цих елементів для ФСА ТП за п. 6.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобух А.О., Малєєв О.І, Гейко О.В. Автоматизація систем водопостачання та водовідведення: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 183 с.
2. Попкович Г.С., Гордєєв Н.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. – М.: Высш. шк., 1986. – 392 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для ВУЗов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
4. Душкин С.С., Гриценко Г.В., Внукова Н.В., Сорокина Е.Б., Благодарная Г.И. Водоснабжение, водоотведение и улучшение качества воды: Уч. пособие. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 154 с.
5. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: Навч. посібник. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
6. Методичні вказівки до розрахунково-графічного завдання і розділу дипломного проекту з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення» і для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання спеціалізації 7.092601 (ОВ) «Очистка природних і стічних вод»). Укл.: Бобух А.О., Малєєв О.І. – Харків: ХНАМГ, 2007. - 27 с.
7. Методичні вказівки до самостійної роботи і практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0926 «Водні ресурси», спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення»). Укл.: Бобух А.О., Малєєв О.І. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 44 с.

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до самостійної роботи і практичних занять з дисципліни «Автоматизація ВК систем» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0926 «Водні ресурси», спеціальності 7.092601 «Водопостачання та водовідведення»).

Укладачі: Анатолій Олексійович Бобух,  
Олександр Іванович Малєєв

Відповідальний за випуск: О.О.Алексахін

Редактор: М.З.Аляб'єв

Верстка: Ю. П. Степась.

План 2009, поз. 15-М

Підп. до друку 12.03.2009	Формат 60×84/1/16	Папір офісний
Друк на ризографі	Умовн.-друк. арк. 2,6	Обл. вид. арк. 3,0
Замовл. №	Тираж 120 прим	

61002, Харків, ХНАМГ, вул.. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ  
61002, Харків, ХНАМГ, вул.. Революції, 12