

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до самостійної роботи, практичних занять і виконання
контрольної роботи з дисципліни**

«Автоматизація інженерних систем»

(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 6.060101 (0921) «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво та господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель» та слухачів другої вищої освіти)

Методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять і виконання контрольної роботи з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 6.060101 (0921) «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво та господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель» та слухачів другої вищої освіти) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: А.О. Бобух, О.І. Макєєв. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 43 с.

Укладачі: А.О. Бобух,
О.І. Малєєв

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

Рекомендовано
кафедрою теплохолодопостачання,
протокол № 5 від 14.01.2009 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ПЕРША ЧАСТИНА	5
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання)	5
ВСТУП	5
1. РОЛЬ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ЩОДО ПИТАНЬ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ	5
2. ЗМІСТОВІ МОДУЛІ (ЗМ), ЛІТЕРАТУРА І КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ЗА ЗМ ДИСЦИПЛІНИ	12
3. ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ	18
4. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАНЬ	18
ДРУГА ЧАСТИНА	20
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до практичних занять з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання)	20
ВСТУП	20
1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. Дослідження лінійної системи автоматичного керування на стійкість за частотним критерієм Михайлова	20
2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. Аналіз лінійної системи автоматичного керування рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів	25
3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. Розробка функціональних схем автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) на базі локальних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА)	28
ТРЕТЯ ЧАСТИНА	39
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання контрольної роботи з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання)	39
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	43

ПЕРЕДМОВА

Це навчальне видання з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0921 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво та господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель») містить три частини, в яких наведено методичні вказівки до самостійної роботи студентів, практичних занять і виконання контрольної роботи.

Перша частина включає методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання).

Друга частина містить методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання).

Третя частина містить методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання).

ПЕРША ЧАСТИНА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 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 ЩОДО ПИТАНЬ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ Статус дисципліни - за вибором студента.

Тривалість вивчення дисципліни. Загальна кількість часу, що відведена для вивчення дисципліни, складає 4/144 кредитів/годин, протягом одного семестру четвертого і п'ятого 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	Контрольна робота	
					Лекції	Практичні	Лабораторні			
Денна	4	8	144	60	30	15	15	84	4	8
Заочна	5	9	144	16	8	8		128	4	9

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 «бакалавр» з відповідної спеціальності. Оволодіння необхідним обсягом теоретичних і практичних знань із сучасних методів дослідження об'єктів керування та поглибленими поняттями про автоматизацію інженерних систем, їх визначення, цілі, функції, класифікацію, загальні відомості про сучасні контрольно-вимірювальні 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 інженерних систем (назва модуля)	(4/144) (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 інженерних систем міського господарства як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.
2. Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статички 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) інженерних систем. (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, ІІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.
6. Спеціальні автоматичні регулятори інженерних систем (температури, тиску, витрати, тиску і витрати), їх призначення, склад і принцип дії.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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) інженерних систем.

(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. Загальні відомості про автоматизацію систем централізованого тепlopостачання (СЦТ), декомпозиція систем автоматизації СЦТ, САК технологічними процесами СЦТ.
3. Розробка ФСА ТП на базі локальних КВП та ЗА групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням зі змішувальним насосом та елеваторами на кожній вітці системи опалення і місцевого керування відпуском теплоти в ІТП на опалення за збуренням при роботі зі спеціальним електронним регулятором температури.
4. ФСА ТП по фасадного керування відпуском теплоти на опалення. ФСА ТП систем гарячого водопостачання (СГВ) при двоступеневій послідовній схемі підключення водопідігрівача. ФСА ТП систем кондиціонування повітря (СКП).
5. Диспетчеризація інженерних систем. Загальні відомості про диспетчеризацію. Об'єднані диспетчерські служби.

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.	4/144	30	8	15	8	15	–	84	128
ЗМ 1.1.	1,5/54	10	3	6	4	–	–	38	47
ЗМ 1.2.	1,5/54	8	2	–	–	15	–	31	52
ЗМ 1.3.	1/36	12	3	9	4	–	–	15	29

1.4. Лекційний курс (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 2.

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	6.060101 ТОРРБ	
1	2	3
ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)	Денна	Заочна
Основні поняття про автоматизацію інженерних систем міського господарства як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.	2	0,6
Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статики і динаміки.	2	0,6
Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.	2	0,6
Стійкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні й частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.	2	0,6

Продовження табл. 2

1	2	3
Типові закони керування (П, І, ПІ, ПД, ПІД) параметрами технологічних процесів.	2	0,6
ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) інженерних систем.	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	0,2
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.	1	0,2
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	0,2
Автоматичний контроль рівня рідини. Автоматичний контроль концентрації (складу), вологості, густини і в'язкості.	0,5	0,2
Автоматичні регулятори та їх класифікація. Автоматичні регулятори неперервної дії (П, І, ПІ, ПД, ПІД - регулятори) й виконавчі механізми.	1	0,2
Спеціальні автоматичні регулятори інженерних систем (температури, тиску, витрати, тиску і витрати), їх призначення, склад і принцип дії.	2	0,6
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.	1,5	0,4
ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) інженерних систем.	Денна	Заочна
Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні та цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.	4	1
Загальні відомості про автоматизацію систем централізованого теплопостачання (СЦТ), декомпозиція систем автоматизації СЦТ, САК технологічними процесами СЦТ.	3	0,75
ФСА ТП по фасадного керування відпуском теплоти на опалення. ФСА ТП систем гарячого водопостачання (СГВ) при двоступеневій послідовній схемі підключення водопідігрівача. ФСА ТП систем кондиціонування повітря (СКП).	4	1
Диспетчеризація інженерних систем. Загальні відомості про диспетчеризацію. Об'єднані диспетчерські служби.	1	0,25

1.5. Практичні заняття (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 3

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	6.060101 ТОРРБ	
ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК).	Денна	Заочна
Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова.	4	4
Аналіз лінійної САК рівнем рідини на стійкість за алгебраїчним критерієм Гурвіца та якість перехідних процесів.	2	–
ЗМ 1.3. Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) інженерних систем.	Денна	Заочна
Розробка ФСА ТП на базі локальних КВП та ЗА групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням зі змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення і місцевого керування відпуском теплоти в ІТП на опалення за збуренням при роботі зі спеціальним електронним регулятором температури.	9	4

1.6. Лабораторні роботи (денна і заочна форми навчання)

Таблиця 4

Тематика	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	6.060101 ТОРРБ	
ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади й засоби автоматизації (КВП та ЗА) інженерних систем.	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.	5	–
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.	7	–
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води у фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).	3	–

1.7. Індивідуальні завдання:

курсний проект (робота), РГЗ, контрольна робота тощо

Виконання контрольної роботи на тему «Дослідження лінійної системи автоматичного керування на стійкість за частотним критерієм Михайлова» - 4 години.

(тематика, зміст і обсяг у годинах)

1.8. Самостійна навчальна робота студента

Таблиця 5

Зміст	Кількість годин за спеціальностями, спеціалізаціями (шифр, аббревіатура)	
	6.060101 ТОРРБ	
1	2	3
ЗМ 1.1. Системи автоматичного керування (САК)	Денна	Заочна
Основні поняття про автоматизацію інженерних систем міського господарства як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.	6	6
Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статичної і динамічної.	6	10
Типові елементарні ланки САК. Передаточні функції та частотні характеристики САК. Структурні схеми САК та їх перетворення.	6	6
Стійкість неперервних лінійних САК, їх алгебраїчні й частотні критерії стійкості. Якість неперервних лінійних САК.	4	6
Дослідження лінійних САК на стійкість за частотним критерієм Михайлова і виконання контрольної роботи.	6	8
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
ЗМ 1.2. Контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації (КВП та ЗА) інженерних систем.	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 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	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) та виконавчі механізми.	4	6
Спеціальні автоматичні регулятори інженерних систем (температури, тиску, витрати, тиску і витрати), їх призначення, склад і принцип дії.	4	8

Продовження табл. 5.

1	2	3
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.	3	6
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 та 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 в ФМСО з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу.	2	4
Дослідження роботи мікропроцесорного контролера (МПК) типу РТГ-32 для реалізації системи автоматичного керування температурою гарячої води в фізичну модель системи гарячого водопостачання (ФМСГВ).	2	4
ЗМ 1.3.Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) інженерних систем.	Денна	Заочна
Загальні відомості про розробку ФСА ТП, їх визначення. Характерні функції САК. Умовні, графічні, літерні та цифрові зображення технологічного обладнання, матеріальних потоків, КВП та ЗА. Адресний метод розробки ФСА ТП.	4	8
Загальні відомості про автоматизацію систем централізованого теплопостачання (СЦТ), декомпозиція систем автоматизації СЦТ, САК технологічними процесами СЦТ.	2	8
Розробка ФСА ТП на базі локальних КВП та ЗА групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням зі змішувальним насосом та елеваторами на кожній вітці системи опалення і місцевого керування відпуском теплоти в ІТП на опалення за збуренням при роботі зі спеціальним електронним регулятором температури.	3	5
ФСА ТП пофасадного керування відпуском теплоти на опалення. ФСА ТП систем гарячого водопостачання (СГВ) при двоступеневій послідовній схемі підключення водопідігрівача. ФСА ТП систем кондиціонування повітря (СКП).	4	6
Диспетчеризація інженерних систем. Загальні відомості про диспетчеризацію. Об'єднані диспетчерські служби.	2	2

(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 інженерних систем міського господарства як об'єктів автоматизації. Класифікація систем автоматизації. Основні елементи САК.

2. Класифікація САК. Загальні характеристики САК та форми запису їх рівнянь статички 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. 6-9, 22-59.

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 визначається успіх автоматизації інженерних систем?
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 статички 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 результируючих 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. Визначить 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) інженерних систем.

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) та виконавчі механізми.
6. Спеціальні автоматичні регулятори інженерних систем (температури, тиску, витрати, тиску і витрати), їх призначення, склад і принцип дії.

7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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. 62-136.

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 та 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 «Сапфір» 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 інженерних систем?
22. Які типи спеціальних регуляторів вам відомі?
23. Наведіть склад, призначення і принцип дії спеціального електронного регулятора температури (СЕРТ) типу «Електроніка Р-7».
24. Нарисуйте умовне зображення СЕРТ типу «Електроніка Р-7-Т» на ФСА ТП при адресному методі її розробки.
25. Наведіть короткі характеристики регулятора температури типу Т-48М і його шести модифікацій.
26. Нарисуйте умовне зображення регулятора температури Т-48М-5 на ФСА ТП.
27. Наведіть принцип дії регулятора тиску прямої дії типу РД, регулятора витрат прямої дії типу РВ і універсального регулятора витрат і тиску прямої дії типу УРВТ.
28. Назвіть основні елементи ЕРКСА та що показують на схемах головного струму і схемах керування (допоміжних ланок)?
29. Нарисуйте типові елементарні ЕРКСА повторювача, самоблокування і взаємного блокування.
30. Нарисуйте ЕРКСА послідовного блокування включенням і виключенням.
31. Нарисуйте ЕРКСА пуску, зупинки й захисту від перевантаження асинхронного трифазного електричного двигуна з короткозамкненим ротором.
32. Назвіть призначення системи автоматичного захисту і технологічної сигналізації.

ЗМ 1.3. **Функціональні схеми автоматизації технологічних процесів (ФСА ТП) інженерних систем.**

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. Загальні відомості про автоматизацію систем централізованого тепlopостачання (СЦТ), декомпозиція систем автоматизації СЦТ, САК технологічними процесами СЦТ.

3. Розробка ФСА ТП на базі локальних КВП та ЗА групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням зі змішувальним насосом та елеваторами на кожній вітці системи опалення і місцевого керування відпуском теплоти в ІТП на опалення за збуренням при роботі зі спеціальним електронним регулятором температури.
4. ФСА ТП по фасадного керування відпуском теплоти на опалення. ФСА ТП систем гарячого водопостачання (СГВ) при двоступеневій послідовній схемі підключення водопідігрівача. ФСА ТП систем кондиціонування повітря (СКП).
5. Диспетчеризація інженерних систем. Загальні відомості про диспетчеризацію. Об'єднані диспетчерські служби.

Література [1], с. 10-20, 137-176, 195-198.

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 фрагмент ФСА ТП з використанням локальних КВП та ЗА умовного технологічного процесу.
6. Нарисуйте фрагмент ФСА ТП з використанням мікропроцесорного контролера умовного технологічного процесу.
7. Чим відрізняються умовні зображення ВП та АР «на місці» і «на щиті»?
8. Наведіть умовне позиційне позначення локальних КВП та ЗА на ФСА ТП.
9. Як виконана декомпозиція систем автоматизації централізованого теплопостачання, чому вона спричиняє?
10. Назвіть основні системи автоматичних контролю, сигналізації і які системи автоматичного керування повинні бути на ТЕЦ?
11. Які системи автоматичних контролю і сигналізації реалізують на теплових мережах і насосних станціях?
12. Які системи автоматичних контролю, сигналізації, керування реалізують у ЦТП?
13. Які системи автоматичних контролю, сигналізації, керування реалізують в ІТП?
14. Нарисуйте ФСА ТП групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням температури зовнішнього повітря при незалежному приєднанні системи опалення. Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи і позиції цих елементів.
15. Нарисуйте ФСА ТП групового керування відпуском теплоти на опалення за

збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення. Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи й позиції цих елементів.

16. Нарисуйте ФСА ТП місцевого керування відпуском теплоти на опалення за збуренням при роботі з СЕРТ «Електроніка Р-7Т». Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи й позиції цих елементів.

17. Нарисуйте ФСА ТП пофасадного керування відпуском теплоти на опалення за відхиленням температури повітря в приміщеннях. Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи й позиції цих елементів.

18. Нарисуйте ФСА ТП системи гарячого водопостачання при двоступеневій послідовній схемі підключення водопідігрівача. Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи й позиції цих елементів.

19. Нарисуйте ФСА ТП СКП із рециркуляцією повітря із застосуванням локальних КВП і ЗА. Які функції реалізовано при розробці цієї ФСА ТП? Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи й позиції цих елементів.

20. Що передбачає і забезпечує диспетчеризація інженерних систем?

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

22. Назвіть висоту розміщення деяких засобів автоматизації на фасадній стороні щита.

23. Назвіть основне призначення пультів керування.

24. Де створюють об'єднані диспетчерські служби, що вони забезпечують?

3. ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

Поточний контроль проводять за результатами тестування студентів після закінчення вивчення кожного змістового модуля і перевірки контрольної роботи.

Підсумковий контроль – шляхом складання екзамену.

4. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАТЬ

«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 неprincipові 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), **«Е»** (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, принципів 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 інженерних систем»
(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання)

ВСТУП

Загальною метою практичних занять є закріплення отриманих знань з дисципліни «Автоматизація інженерних 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 [1-5].

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Дослідження лінійної системи автоматичного керування на стійкість за частотним критерієм Михайлова (4 год. – для студентів 4 курсу денної і 5 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 ω - 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 $\text{Re}(\omega)$ і уявні $\text{Im}(\omega)$ частини, тобто:

$$G_3(\omega) = \text{Re}_3(\omega) + i\text{Im}_3(\omega), \quad G_p(\omega) = \text{Re}_p(\omega) + i\text{Im}_p(\omega);$$

5) зміну значення ω в межах від 0 до ∞ , обчислення відповідних значень $\text{Re}(\omega)$ та $\text{Im}(\omega)$ та запис їх в таблицю;

6) побудову на комплексній площині в координатах $\text{Re}(\omega)$, $\text{Im}(\omega)$ годографа Михайлова, радіус-вектор якого при зміні ω від 0 до ∞ 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 ∞ , 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 $\frac{p}{2} \pi$. 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 показано на рис. 1.1.

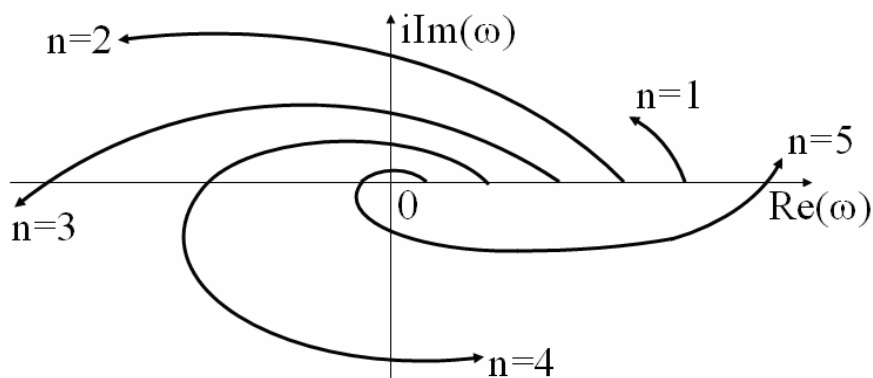


Рис. 1.1.

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

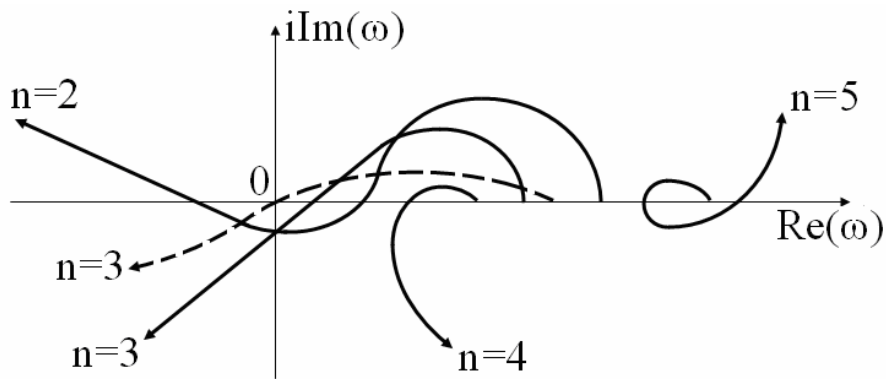


Рис. 1.2.

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:

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

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

Виконуємо 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:

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

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

Задані значення відповідних 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 відповідно 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 $Re(\omega)$ та 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 ω у межах від 0 до ∞ , обчислюємо значення $Re(\omega)$ і $Im(\omega)$, результати наведено в табл. 1.1 і 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1

ω	0	1	...	5	...	9,887	14	...	17,321	20	...	∞
$Re_p(\omega)$	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

ω	0	1	3	5	6	8,165	9	10,17	11	15	...	∞
$Re_3(\omega)$	30	29,71	27,39	22,75	19,56	10,67	6,51	0	-5,1	-35,25		∞
$Im_3(\omega)$	0	1,182	3,114	3,75	3,312	0	-2,32	-6,73	-10,1	-42,75		∞

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

$$\text{Так, } Re_p(\omega)=40-0,41\omega^2=0; \quad \omega=\sqrt{\frac{40}{0,41}}=9,887; \quad Im_p(\omega)=1,2\omega-0,004\omega^3=0;$$

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

$$Re_3(\omega)=30-0,29\omega^2=0; \quad \omega=\sqrt{\frac{30}{0,29}}=10,17;$$

$$Im_3(\omega)=1,2\omega-0,018\omega^3; \quad \omega(1,2-0,018\omega^2)=0; \quad \omega \neq 0; \quad \omega=\sqrt{\frac{1,2}{0,018}}=8,165.$$

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).

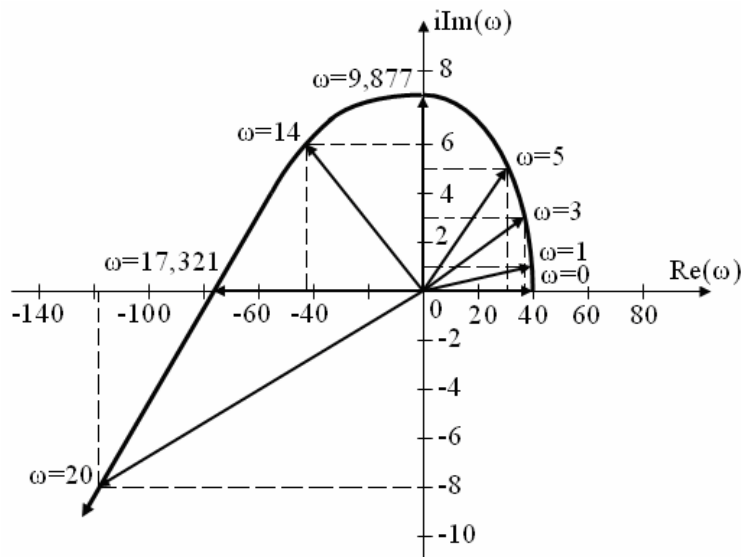


Рис. 1.3.

ВИСНОВОК

Годограф Михайлова, побудований за даними табл. 1.1, відповідає стійкій САК, бо радіус-вектор годографа Михайлова для передаточної функції третього порядку при зміні частоти від 0 до ∞ , 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 $3\frac{p}{2}$.

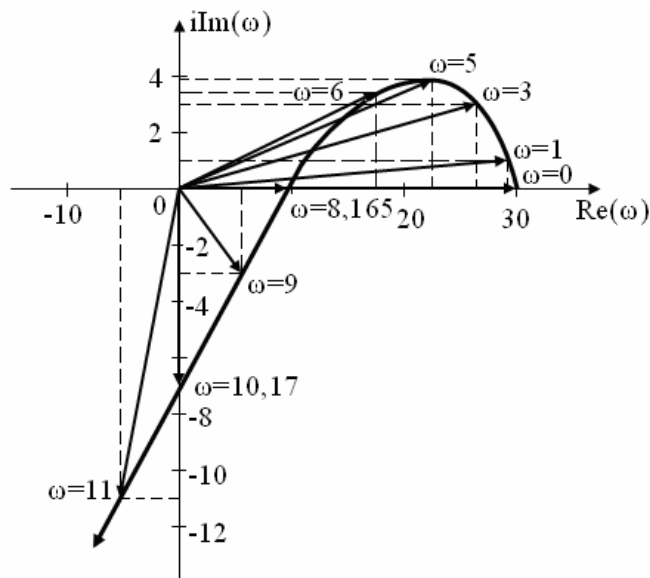


Рис. 1.4.

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 ∞ , 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 4 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 виконують 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)

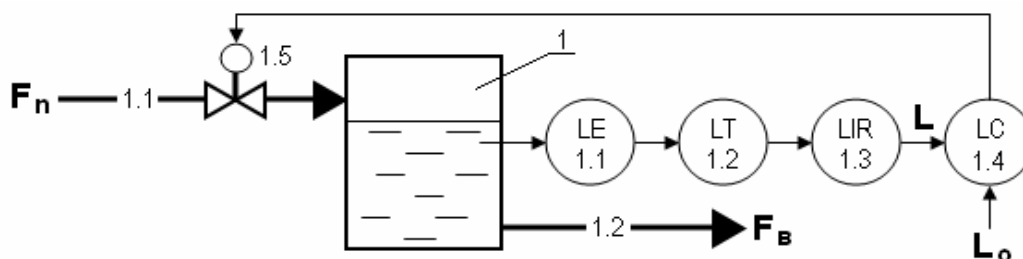


Рис. 2.1.

1- резервуар чистої води; 1.1 – чиста вода в резервуар; 1.2 – чиста вода споживачам; F_n – витрати води в резервуар (прихід); F_v – 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 запровадимо 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_0 і L , тобто

$$Y=L_0-L \quad (2.1)$$

і керуючий вплив:

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

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

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

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 підставленням їх в (3.6) маємо:

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

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:

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

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

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

де C_1 , C_2 – сталі інтегрування; γ_1 , γ_2 – корені характеристичного рівняння (2.8), що залежать від значень S , K , a .

При дійсних від'ємних коренях γ_1 і γ_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

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

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

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

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

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

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

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

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. Визначить 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 локальних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації (КВП та ЗА) (9 год. – для студентів 4 курсу денної і 4 год. – для студентів 5 курсу заочної форм навчання))

3.1. Мета практичного заняття – оволодіння навичками розробки ФСА ТП адресним методом деяких інженерних систем на базі локальних КВП та ЗА.

3.2. Методика розробки ФСА ТП адресним методом

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

- короткий опис технологічного процесу;
- опис функцій, які треба реалізувати;
- обґрунтування вибору сучасних КВП та ЗА для реалізації функцій;
- повна назва систем автоматичного керування (САК) параметрами технологічного процесу;
- специфікація на КВП та ЗА;
- експлікація обладнання;
- умовні позначення матеріальних потоків;
- висновок.

Без втрати спільності підходу до розробки ФСА ТП адресним методом деяких інженерних систем через складні технологічні схеми будемо розглядати фрагменти технологічних процесів (див. [1], с. 137-176).

3.3. ФСА ТП фрагмента групового керування відпуском теплоти за збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення

3.3.1. Короткий опис технологічного процесу

Розроблена ФСА ТП подана на рис. 3.1.

Гарячий теплоносій (1.1) із подавального трубопроводу теплової мережі подається на ЦТП (1), в якому встановлено змішувальний насос (2) із електродвигуном, де змішується із теплоносієм (1.4) після системи опалення (3) будинків. Теплоносій (1.3) в подавальному трубопроводі після ЦТП (1) подається на систему опалення (3), на кожній вітці якої встановлено елеватори (4). Теплоносій (1.2) після ЦТП (1) подається у зворотний трубопровід теплової мережі. Для стабілізації температури теплоносія (1.3) в подавальному трубопроводі системи опалення (3) необхідно виконувати контроль температури цього теплоносія (1.3) і керування нею зміною витрат гарячого теплоносія (1.1) з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу. При розробці цієї ФСА ТП для ЦТП (1) зміна витрат теплоносія в тепловій мережі не відбивається на витратах теплоносія в системі опалення (3), тобто виключається можливість вертикального розкерування системи опалення (3) при значних скороченнях витрат теплоносія в тепловій мережі. При цьому необхідно виконувати ко-

контроль температури й тиску теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах поперед й після ЦТП (1). Крім того, останнім часом виконують облік спожитої теплової енергії ЦТП (1) і системою опалення (3).

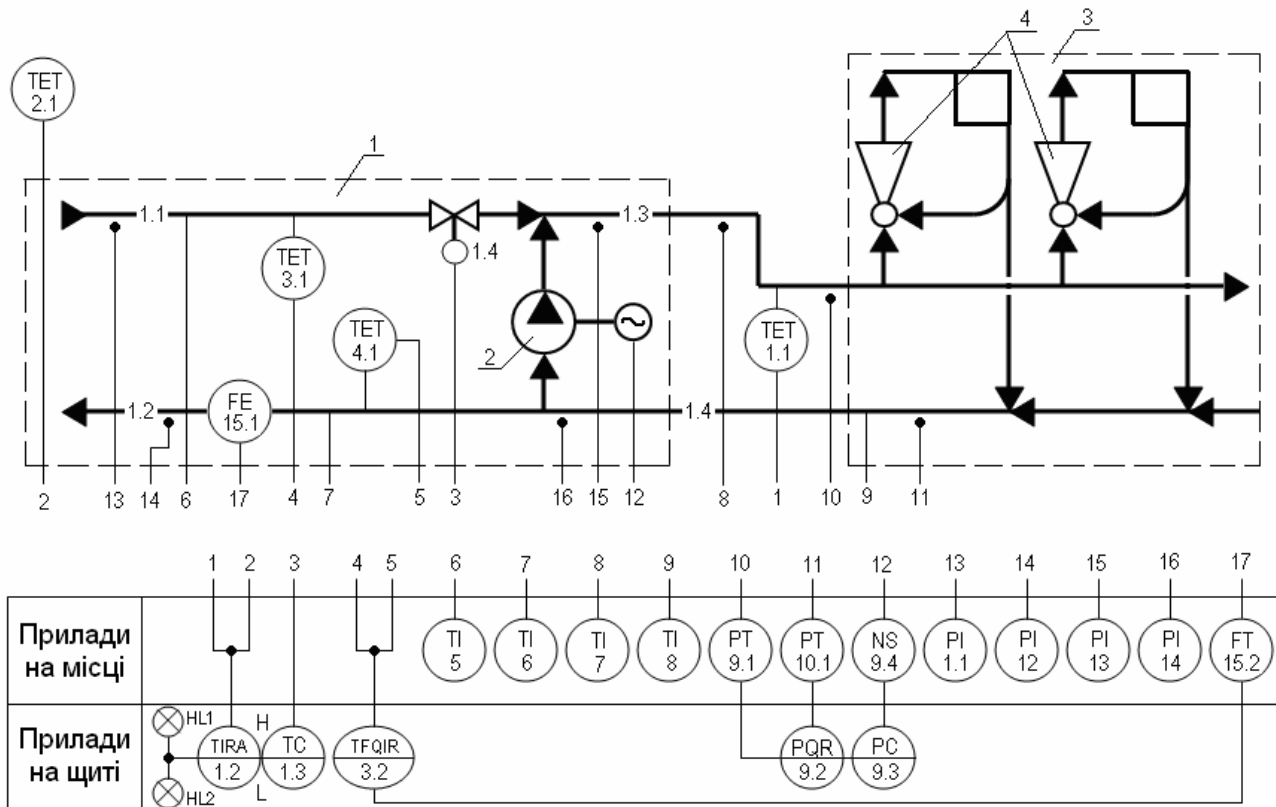


Рис. 3.1.

3.3.2. Опис функцій, які треба реалізувати

Для розробки фрагмента ФСА ТП необхідно виконати такі функції:

автоматичний контроль температури теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення, технологічна сигналізація при виході її за допустимі регламентні значення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування нею зміною витрат гарячого теплоносія із подавального трубопроводу теплової мережі з корекцією за температурою зовнішнього повітря як збурюючого впливу;

автоматичний облік спожитої теплової енергії ЦТП і системою опалення;

автоматичний контроль температури теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах попереду й після ЦТП;

автоматичний контроль тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення, розрахунок і видача керуючих впливів на керування перепадом цих тисків зміною обертів електродвигуна змішувального насоса;

автоматичний контроль тиску теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах попереду й після ЦТП.

3.3.3. Обґрунтування вибору сучасних КВП та ЗА

Для виконання вказаних функцій фрагмента ФСА ТП застосовані сучасні первинні (ПП), передавальні (ПрП) або первинно-передавальні (ПП/ПрП) перетворювачі сигналів, вторинні прилади (ВП), автоматичні регулятори (АР) і ви-

конавчі механізми (ВМ) – локальні КВП та ЗА [1].

Для автоматичного контролю температури теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення і температури зовнішнього повітря як ПП/ПрП застосовано термоперетворювачі опору з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4 – 20 мА типу ТСМУ-0288 (див. [1] підрозділ 4.1) (поз. 1.1 і 2.1), сигнали від яких надходять на аналоговий показуючий самозаписуючий сигналізуючий ВП типу А-543 (поз. 1.2), що перетворює їх у значення температури [°С], а також сигналізує вихід температури теплоносія за верхнє (Н) або нижнє (L) регламентні значення, при цьому горять сигнальні лампочки НЛ1 (або НЛ2). При зміні різниці температур зовнішнього повітря і теплоносія сигнал від ВП (поз 1.2) надходить на АР для порівняння з сигналом «задатчика» (на ФСА ТП не показано). Як АР застосовано регулятор типу РС.29.042 (поз. 1.3). Керуючі впливи від АР надходять на ВМ, що механічно з'єднаний із регулюючим органом для зміни витрат теплоносія в подавальному трубопроводі (поперед ЦТП). Як ВМ застосовано однообертовий електричний двигун із гальмом загального типу МЕО-1 (поз. 1.4).

Для автоматичного обліку спожитої теплової енергії ЦТП і системою опалення застосовано електромагнітний тепловий лічильник типу КМ-5-1 ([1], с. 210) в комплекті: поз. 3.1 і 4.1 – ПП для вимірювання температури теплоносія в подавальному (поз. 3.1) і зворотному (поз. 4.1) трубопроводах; поз. 3.2 – ВП теплообчислювач; поз 11.1 і 11.2 – ПП і ПрП витратомір (в комплекті) для вимірювання витрат теплоносія у зворотному трубопроводі.

Тепловий лічильник виконує розрахунок середніх значень спожитої теплової енергії \bar{Q} за деякий час (t) за алгоритмом ([1], с. 93-96):

$$\bar{Q} = \frac{G \Delta T K_{\phi} K_T}{1000}, \quad (3.1)$$

де G – середній об'єм теплоносія, що проходить через ЦТП і систему опалення за деякий час (t); ΔT – різниця середніх значень температур в подавальному і зворотному трубопроводах; K_{ϕ} – коефіцієнт, величина якого визначається фізичними властивостями теплоносія, тобто його теплоємністю; K_T – коефіцієнт, значення якого залежить від одиниць виміру спожитої теплової енергії:

$$K_T = \begin{cases} 1 & \text{для розрахунку } \bar{Q} \text{ в Гкал;} \\ 1,168 & \text{для розрахунку } \bar{Q} \text{ в МВт;} \\ 4,186 & \text{для розрахунку } \bar{Q} \text{ в ГДж.} \end{cases}$$

Для автоматичного контролю температури теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ЦТП застосовано термометр показуючий манометричний газонаповнений типу ТПГ-4 (див. [1] підрозділ 4.1) (поз. 5 і 6), на ФСА ТП - це вторинні показуючі прилади.

Для автоматичного контролю тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення застосовано як ПрП вимірювальні тензорезисторні перетворювачі надлишкового тиску типу САФІР-21 (поз. 9.1 і 10.1), уніфіковані сигнали постійного струму 4 – 20 мА з яких надходять на аналоговий показуючий самозаписуючий ВП типу А-543 (поз. 9.2), що перетворює

їх у значення тиску [МПа]. При зміні перепаду тиску сигнал від ВП надходить на АР типу РС.29.042 (поз. 9.3). Керуючі впливи від АР надходять на ВМ. Як ВМ застосовано пускач магнітоелектричний типу ПМЕ (поз. 9.4). Слід підкреслити, що пускач магнітоелектричний можна використовувати не тільки для автоматичного пуску/зупинки електродвигуна деякого обладнання (насоси, компресори, вентилятори тощо), а і для зміни числа обертів електродвигунів, що механічно з'єднані з відповідним обладнанням. Типи пускачів магнітоелектричних залежать від потужності електродвигунів, вони наведені в довідковій літературі.

Для автоматичного контролю тиску теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ЦТП застосовано деформаційний показуючий манометр загальнопромислового призначення типу ОБМ-100 (поз. 11, 2, 13, 14), на ФСА ТП - це показуючі ВП.

3.3.4. Повна назва систем автоматичних керування, обліку і контролю параметрів технологічного процесу

Система автоматичного керування температурою теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення з видачею керуючих впливів на зміну витрати теплоносія в подавальному трубопроводі теплової мережі залежно від зміни температури зовнішнього повітря як збурюючого впливу. Система складається з елементів, позицій і типів КВП та ЗА:

ПП/ПрП – $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 1.1} \\ \text{поз. 2.1} \end{array} \right\}$ – ТСМУ-0288;

ВП – поз. 1.2 – А-543;

АР – поз. 1.3 – РС.29.042;

ВМ – поз. 1.4 – МЕО-1.

НЛ1, НЛ2 – сигнальні лампи.

Система автоматичного обліку спожитої теплової енергії реалізована на базі електромагнітного теплового лічильника типу КМ-5-1 в комплекті: ПП – поз. 3.1, 4.1, 15.1; ПрП – поз. 15.2; ВП – поз. 3.2.

Система автоматичного контролю температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі і в подавальному й зворотному трубопроводах системи опалення складається із ВП – поз. 5, 6, 7, 8 – ТПГ-4.

Система автоматичного керування перепадом тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення з видачею керуючих впливів на зміну числа обертів електродвигуна змішувального насоса.

Система складається:

ПрП – $\left\{ \begin{array}{l} \text{поз. 9.1} \\ \text{поз. 10.1} \end{array} \right\}$ – САФІР-21;

ВП – поз. 9.2 – А-543;

АР – поз. 9.3 – РС.29.042;

ВМ – поз. 9.4 – ПМЕ.

Система автоматичного контролю тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі і в подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення складається із ВП – поз. 11, 12, 13, 14 – ОБМ-160.

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	ТСМУ-0288	2
3.1; 4.1; 15.1; 15.2; 3.2	Електромагнітний тепловий лічильник в комплекті	КМ-5-1	1
5, 6, 7, 8	Термометр манометричний показуючий газонаповнений	ТПГ-4	4
9.1; 10.1	Вимірювальний тензорезисторний перетворювач надлишкового тиску з уніфікованими вихідними сигналами постійного струму 4-20 мА	САФІР-21	2
1.2; 9.2	Аналоговий показуючий, самозаписуючий, сигналізуючий вторинний прилад	А-543	2
1.3; 9.3	Загальнопромисловий автоматичний регулятор побічної дії	РС.29.041	2
1.4	Однообертовий електричний двигун з гальмом	МЕО-1	1
9.4	Пускач магнітоелектричний	ПМЕ	1
11; 12; 13; 14	Деформаційний показуючий манометр загальнопромислового призначення	ОБМ-100	4
HL1; HL2	Сигнальна арматура (лампа)	АСВ	2

3.3.6. ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

№ п/п	Назва обладнання	Кількість	Примітка
1	Центральний тепловий пункт	1	
2	Змішувальний насос із електродвигуном	1	
3	Система опалення	1	
4	Елеватор	2	Залежить від кількості будинків

3.3.7. Умовні позначення матеріальних потоків

1.1 – гарячий теплоносій із подавального трубопроводу теплової мережі до ЦТП;

1.2 – теплоносій після ЦТП у зворотному трубопроводі теплової мережі;

1.3 – теплоносій у подавальному трубопроводі до системи опалення;

1.4 – теплоносій у зворотному трубопроводі після системи опалення.

ВИСНОВОК

Розроблена ФСА ТП фрагменту групового керування відпуском теплоти за збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення сприяє підвищенню продуктивності обладнання групового керування на 15-20 %.

3.4. ФСА ТП фрагмента місцевого керування відпуском теплоти в ТП на опалення за збуренням при роботі зі спеціальним електронним регулятором температури

3.4.1. Короткий опис технологічного процесу

Розроблена ФСА ТП подана на рис. 3.2.

Гарячий теплоносій (1.1) в подавальному трубопроводі подається в ІТП (1), в якому встановлено спеціальний електронний регулятор температури (СЕРТ) типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т», призначений для автоматичного керування температурою змішаного теплоносія (1.3) в систему опалення (2) та економії теплоти за рахунок автоматичної зміни співвідношення витрат теплоносія (1.1) і (1.4), що поступає в СЕРТ типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т» [2] і зворотного трубопроводів відповідно. Теплоносій (1.2) у зворотному трубопроводі на виході ІТП поступає через ЦТП у зворотній трубопровід теплової мережі.

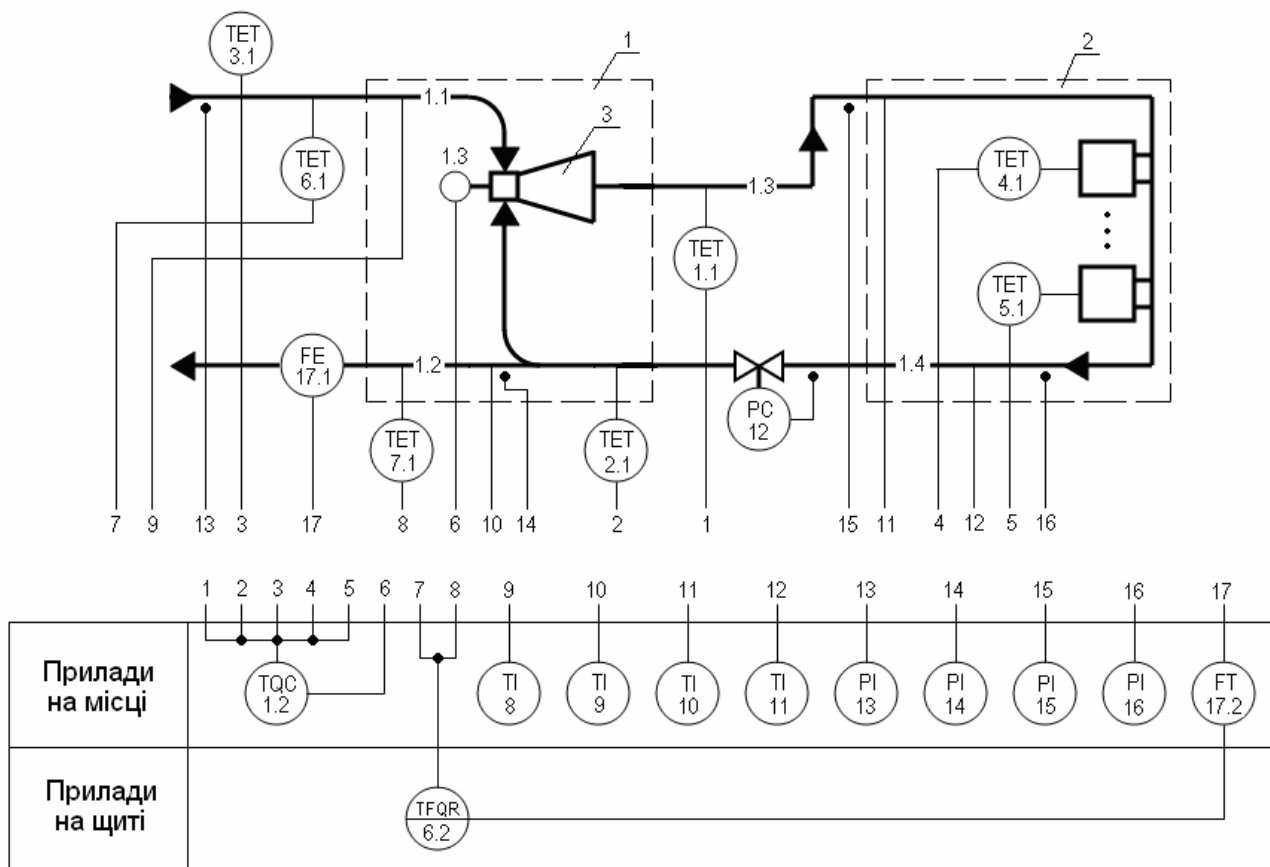


Рис. 3.2.

До складу СЕРТ типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т» входять:

первинні перетворювачі сигналів для автоматичного контролю температури: змішаного теплоносія в подавальному в систему опалення (поз. 1.1) і зворотному із системи опалення (поз. 2.1) трубопроводах; зовнішнього повітря (поз. 3.1); повітря у середині приміщення системи опалення в двох контрольних точках (поз. 4.1; 5.1);

пристрій керування типу «ТЕПЛУР», який виконаний на базі однокристалової мікро-ЕОМ (поз. 1.2);

елеватор гідравлічний з керованою площею отвору сопла (3), яке суміщене із спеціальним електричним приводом (поз. 1.3).

СЕРТ типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т» забезпечує виконання наступних функцій:

автоматичну стабілізацію заданої температури повітря усередині приміщення залежно від температури зовнішнього повітря відповідно до заданого температурного графіка;

автоматичну корекцію заданого температурного графіка за усередненою температурою повітря в двох контрольних точках приміщення системи опалення;

автоматичне обмеження температури теплоносія в зворотньому трубопроводі із системи опалення;

автоматичну зміну заданої температури повітря усередині приміщення в святкові або вихідні дні за сигналами **таймера**, який реалізований однокристалевою мікро-ЕОМ.

Пристрій керування типу «ТЕПЛУР» виконаний на базі однокристалевої мікроЕОМ, умовно зображений як автоматичний регулятор (поз. 1.2), що виконує операції інтегрування вхідних сигналів за певним алгоритмом.

Деякі технічні характеристики СЕРТ типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т» наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

№ п/п	Назва характеристики	Одиниця виміру	Значення
1.	Температура гарячого теплоносія в подавальному трубопроводі на вході ІТП, не більше	°С	150
2.	Робочий тиск теплоносія, не більше	МПа	1,6
3.	Перепад тиску теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах, не більше	МПа	0,3
4.	Задана температура в приміщенні	°С	18-24
5.	Діаметр отвору сопла елеватора гідравлічного (за типом регулятора)	мм	6; 8; 10; 12; 14; 16; 18
6.	Теплопродуктивність системи опалення ($\pm 15\%$) - за типом регулятора	Гкал/г	0,1; 0,19; 0,3; 0,43; 0,58; 0,76; 0,94

СЕРТ типу «ЕЛЕКТРОНІКА Р-7Т» реалізує пропорційно-інтегральний (ПІ) закон керування, випускається ТОВ «НТЦ АСУ», м. Кострома (Російська Федерація) (тел/факс (0942)22-41-09).

3.4.2. Опис функцій, які треба реалізувати

Для розробки фрагмента ФСА ТП необхідно виконати такі функції:

автоматичне керування температурою змішаного теплоносія в подавальному трубопроводі в систему опалення з корекцією за температурами: теплоносія у зворотньому трубопроводі із системи опалення; зовнішнього повітря; повітря у середині приміщення системи опалення у двох контрольних точках;

автоматичний облік теплової енергії, що споживається ІТП і системою опалення;

автоматичний контроль температури теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП;

автоматичне керування тиском теплоносія у зворотньому трубопроводі з системи опалення для запобігання її спорожнення;

автоматичний контроль тиску теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП.

3.4.3. Обґрунтування вибору сучасних КВП та ЗА

Для виконання вказаних функцій фрагмента ФСА ТП застосовані сучасні спеціальні регулятори (АР) температури (ТС) і тиску (РС), вторинні показуючі прилади температури (ТІ) і тиску (РІ), лічильник теплової енергії, а також первинні (ПП) і передавальні (ПрП) перетворювачі сигналів, виконавчі механізми (ВМ).

Автоматичне керування температурою змішаного теплоносія в подавальному трубопроводі в систему опалення реалізовано з застосуванням спеціального електронного регулятора температури (СЕРТ) типу «Електроніка Р-7Т» в комплекті (поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1; 1.2; 1.3), опис якого наведено в підрозділі 4.4.1.

Для автоматичного обліку спожитої теплової енергії ІТП і системою опалення застосовано лічильник теплової енергії типу «Supercal-531» («Суперкал-531») [5], який випускається підприємством AQUATHERM (Польща), відповідає вимогам Європейської норми OIMLK75 і ДСТУ 3339-96, під № У 330-05 занесений в Державний реєстр вимірювальної техніки, допущений до застосування на території України.

Лічильник теплової енергії Supercal-531 призначений для визначення кількості теплової енергії, зберігання і видачі інформації про параметри теплоносія і кількості спожитої теплової енергії промисловими підприємствами, житловими кварталами, окремими будинками і приміщеннями житлового, соціально-побутового та іншого призначення.

До складу лічильника теплової енергії входять:

два первинні перетворювачі сигналів для контролю температури гарячого теплоносія в подавальному трубопроводі на вході ІТП і теплоносія у зворотному трубопроводі на виході ІТП (поз. 6.1; 7.1);

електронний теплообчислювач (поз. 6.2) на базі спеціалізованого мікропроцесора з постійною пам'яттю EEPROM;

турбінний витратомір теплоносія у зворотному трубопроводі на виході ІТП у складі ПП (поз. 17.1) і ПрП (поз. 17.2);

модуль інтерфейса RS-232 (на ФСА ТП не показаний).

Деякі технічні характеристики Supercal-531 наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

№ п/п	Назва характеристики	Одиниця виміру	Значення
1.	Діапазон температур	°С	2-200
2.	Діапазон різниці температур	°С	3-150
3.	Батарейка живлення	В	3,6
4.	Термін роботи батарейки живлення	рік	6+1

Розрахунок середніх значень спожитої теплової енергії Supercal-531 виконує за алгоритмом (див. 3.1)

Архівні дані, які зображаються на дисплеї електронного теплообчислювача автоматично або за запитом:

середні значення спожитої теплової енергії, об'єм теплоносія за місяць у певну дату кожного місяці (за програмою);

середні добові значення спожитої теплової енергії, об'єму теплоносія, температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах і різниці цих температур за запитом;

поточні значення теплової енергії, об'єму теплоносія, температури теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах і різниці цих температур, витрати теплоносія за запитом.

Для автоматичного контролю температури в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП застосовано термометр манометричний показуючий газонаповнений типу ТПГ-4 (поз. 8, 9, 10, 11), на ФСА ТП – це показуючий ВП.

Для автоматичного керування тиском теплоносія у зворотному трубопроводі на виході системи опалення застосовано спеціальний регулятор тиску прямої дії типу РТ-50 (поз. 12) для запобігання її спорожнення.

Для автоматичного контролю тиску теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП застосовано деформаційний показуючий манометр загальнопромислового призначення типу ОБМ-100 (поз. 13, 14, 15, 16).

3.4.4. Повна назва систем автоматичних керування, обліку теплової енергії і контролю параметрів технологічного процесу

Система автоматичного керування температурою змішаного теплоносія в подавальному трубопроводі в систему опалення за рахунок зміни співвідношення витрат гарячого теплоносія в подавальному трубопроводі на вході ІТП і теплоносія у зворотному трубопроводі із системи опалення з корекцією за температурами: теплоносія у зворотному трубопроводі із системи опалення; зовнішнього повітря; повітря у середині приміщення системи опалення у двох контрольних точках реалізована на базі СЕРТ «Електроніка Р-7Т» в комплекті:

ПП – поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1;

АР – поз. 1.2;

ВМ – поз. 1.3.

Система автоматичного обліку спожитої теплової енергії ІТП і системою опалення реалізована на базі лічильника теплової енергії типу «Supercal-531» («Суперкал-531») в комплекті:

ПП – поз. 6.1; 7.1; 17.1;

ПрП – поз. 17.2;

ВП – поз. 6.2.

Система автоматичного контролю температури відповідного теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП складається із ВП – поз. 8, 9, 10, 11 – ТПГ-4.

Система автоматичного керування тиском теплоносія у зворотному трубопроводі на виході системи опалення для запобігання її спорожнення реалізована на базі спеціального регулятора тиску прямої дії типу РТ-50 (поз. 12).

Система автоматичного контролю тиску відповідного теплоносія в подавальних і зворотних трубопроводах на входах і виходах ІТП складається із ВП – поз. 13, 14, 15, 16 – ОБМ-100.

3.4.5. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА КВП та ЗА

№ позицій приладів на ФСА ТП	Назва приладу	Тип приладу	Кількість
1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1; 1.2; 1.3	Спеціальний електронний регулятор температури (СЕРТ) в комплекті	Електроніка Р-7Т	1
6.1; 7.1; 6.2; 17.1; 17.2	Електромагнітний тепловий лічильник в комплекті	Supercal-531 (Суперкал-531)	1
8, 9, 10, 11	Термометр манометричний показуючий газонаповнений	ТПГ-4	4
12	Спеціальний регулятор тиску прямої дії	РТ-50	1
13, 14, 15, 16	Деформаційний показуючий манометр загальнопромислового призначення	ОБМ-100	4

3.4.6. ЕКСПЛІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

№ п/п	Назва обладнання	Кількість	Примітка
1	Індивідуальний тепловий пункт	1	
2	Система опалення	1	
3	Елеватор гідравлічний з керованою площею отвору сопла, яке суміщене із спеціальним електричним приводом	1	

3.3.7. Умовні позначення матеріальних потоків

- 1.1 – гарячий теплоносій в подавальному трубопроводі на вході ІТП;
- 1.2 – теплоносій у зворотному трубопроводі на виході ІТП;
- 1.3 – змішаний теплоносій в подавальному трубопроводі до системи опалення;
- 1.4 – теплоносій в зворотному трубопроводі із системи опалення.

ВИСНОВОК

Розроблена ФСА ТП фрагменту місцевого керування відпуском теплоти в ІТП на опалення за збуренням при роботі з СЕРТ типу «Електроніка Р-7Т» сприяє зниженню споживання теплової енергії при такому місцевому керуванні на 15-20 %.

4.5. Контрольні запитання до практичного заняття №3

1. Назвіть основні системи автоматичного керування, які реалізують у ЦТП.
2. Які системи автоматичних контролю і сигналізації реалізують у ЦТП?

3. Який принцип керування реалізують ФСА ТП групового керування відпуском теплоти?
4. Нарисуйте ФСА ТП групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення.
5. Які функції реалізовано при розробці ФСА ТП групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення.
6. Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи та позиції елементів ФСА ТП групового керування відпуском теплоти на опалення за збуренням із змішувальним насосом і елеваторами на кожній вітці системи опалення.
7. Нарисуйте ФСА ТП місцевого керування відпуском теплоти на опалення за збуренням при роботі з спеціальним електронним регулятором температури типу «Електроніка Р-7Т».
8. Які функції реалізовано при розробці ФСА ТП місцевого керування відпуском теплоти на опалення за збуренням при роботі з спеціальним електронним регулятором температури типу «Електроніка Р-7Т».
9. Назвіть повні назви автоматичних систем, їх елементи та позиції елементів ФСА ТП місцевого керування відпуском теплоти на опалення за збуренням при роботі із спеціальним електронним регулятором температури типу «Електроніка Р-7Т».

ТРЕТЯ ЧАСТИНА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання контрольної роботи з дисципліни
«Автоматизація інженерних систем»
(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання)

КОНТРОЛЬНА РОБОТА НА ТЕМУ

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

1. Мета контрольної роботи – закріпити навички дослідження лінійної системи автоматичного керування (САК) на стійкість за частотним критерієм Михайлова.

2. Алгоритм побудови годографа Михайлова і приклади для оцінки стійкості САК

До частотних критеріїв стійкості лінійних неперервних САК належать критерії Михайлова, Найквіста, логарифмічний 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 ω - частота ($0 \leq \omega < \infty$) і отримання комплексних функцій $G_3(\omega)$ та $G_p(\omega)$;

4) перетворення одержаних комплексних функцій $G_3(\omega)$ та $G_p(\omega)$ до вигляду, що має відповідні дійсні $Re(\omega)$ та 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 ω в межах від 0 до ∞ , обчислення відповідних значень $Re(\omega)$ та $Im(\omega)$ та запис їх в таблицю;

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

Частотний критерій Михайлова формулюють таким чином: для стійкості САК необхідно і достатньо, щоб радіус-вектор годографа Михай-

лова для передаточної функції n -го порядку при зміні частоти від 0 до ∞ , 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 $\frac{p}{2} \pi$. При невиконанні цих умов САК буде нестійкою.

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:

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

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

Виконуємо операції множення і зведення подібних членів, отримуємо:

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

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

2. Одержуємо нові функції:

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

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

Задані значення відповідних коефіцієнтів

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

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

які підставляємо відповідно 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 $G_3(\omega)$, у яких виділяємо дійсні $\text{Re}(\omega)$ та уявні $\text{Im}(\omega)$ частини відповідно:

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

$$G_3(\omega) = \frac{30 - 0,29\omega^2}{\operatorname{Re}_3(\omega)} + i \frac{(1,2\omega - 0,018\omega^3)}{\operatorname{Im}_3(\omega)}. \quad (1.10)$$

5. В одержані комплексні функції $G_p(\omega)$ і $G_3(\omega)$ підставляємо значення ω у межах від 0 до ∞ , обчислюємо значення $\operatorname{Re}(\omega)$ і $\operatorname{Im}(\omega)$, а результати наведено в табл. 1.1 і 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1

ω	0	1	...	5	...	9,887	14	...	17,321	20	...	∞
$\operatorname{Re}_p(\omega)$	40	39,59		29,75		0	-40,36		-83,01	-124		$-\infty$
$\operatorname{Im}_p(\omega)$	0	1,196		5,5		7,998	5,82		0	-8		$-\infty$

Таблиця 1.2

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

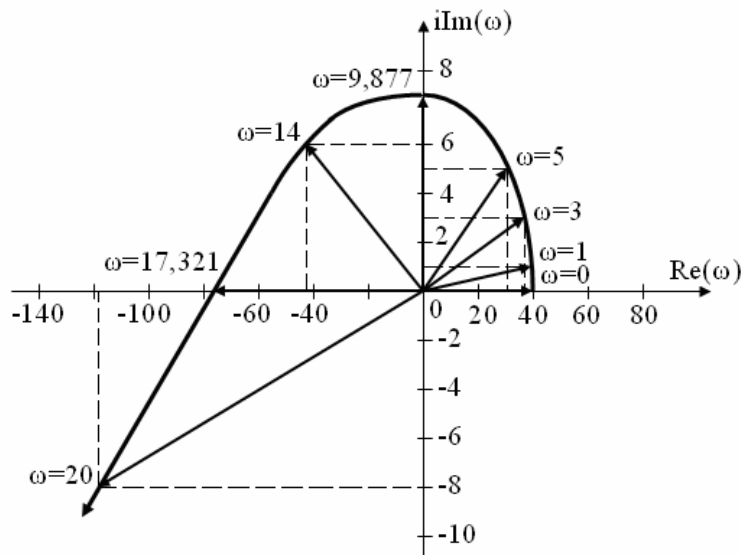


Рис. 1.3.

ВИСНОВОК

Годограф Михайлова, побудований за даними табл. 1.1, відповідає стійкий САК, бо радіус-вектор годографа Михайлова для передаточної функції третього порядку при зміні частоти від 0 до ∞ , 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 $3\frac{p}{2}$.

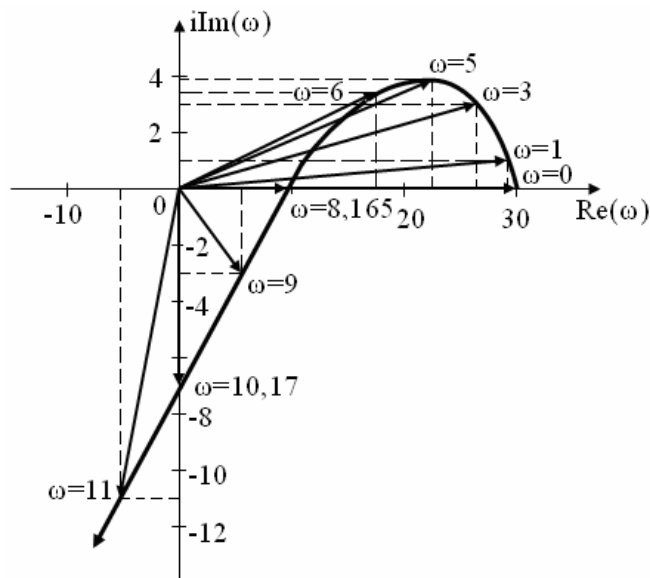


Рис. 1.4.

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 ∞ , почавши обертання з точки, яка лежить на дійсній осі праворуч від нуля ($\text{Re}_z(\omega) = 30$), обертаючись проти годин-

никової 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. Завдання для виконання контрольної роботи «Дослідження лінійної САУ на стійкість за частотним критерієм Михайлова»

Номер варіанта контрольної роботи визначається порядковим номером за списком студентів групи.

Передаточні функції розімкненої $W_p(p)$ або замкненої $W_3(p)$ САУ задаються у вигляді формул (1.1) або (1.2) відповідно, в яких:

k – число, яке дорівнює порядковому номеру за списком студентів групи, при цьому парні і непарні значення чисел відповідають $W_p(p)$ і $W_3(p)$ або навпаки; це обумовлюється в день виконання контрольної роботи;

T_1 і T_2 – числа, які визначаються залежно від дати і місяця (або навпаки) народження студентів, тобто $T_1(T_2) = \frac{01-31}{100}$; $T_2(T_1) = \frac{01-12}{100}$, при цьому для кожної групи студентів T_1 і T_2 обумовлюються в день виконання контрольної роботи;

T_3 – число, яке визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки студента, тобто $T_3 = \frac{01-99}{100}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 212 с.
2. Калманов А.А., Кувшинов Ю.Я. Романова С.С. и др. Автоматика и автоматизация систем теплогоснабжения и вентиляции. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
3. Методичні вказівки до дипломного проектування (для студентів 5 курсу спеціальності 7.092103 "Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель"). Укл.: Шульга М.О., Деркач І.Л., Болотських О.М. та ін., за заг. редакцією Шульги М.О. - Харків: ХНАМГ, 2008, - 24 с.
4. Методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять і виконання контрольної роботи з дисципліни «Автоматизація інженерних систем» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 0921 «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво та господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель»). Укл.: Бобух А.О., Малеев О.І. – Харків: ХНАМГ, 2009. - 45 с.
5. Счетчик тепла SUPERCAL-531. Паспорт. Техническое описание и условия эксплуатации. Монтаж и ввод в эксплуатацию: - Польша: AQUATHERM, 2007. – 30 с.
6. Температурный контроллер РТГ-32. Паспорт. Инструкция по эксплуатации. АО «ХЗКТО», 2006. – 16 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до самостійної роботи, практичних занять і виконання контрольної роботи з дисципліни «**Автоматизація інженерних систем**» (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання професійного напрямку 6.060101 (0921) «Будівництво», спеціальності «Міське будівництво та господарство», спеціалізації «Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель» та слухачів другої вищої освіти).

Укладачі: Бобух Анатолій Олексійович,
Малєєв Олександр Іванович

Відповідальний за випуск: О.О. Алексахін

Редактор: М.З. Аляб'єв

План 2009, поз. 13 М

Підп. до друку 19.02.2009

Формат 60×84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 2,0

Зам. №

Тираж 75 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 731 від 19.12.2001