

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно - інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматичної
та телекомунікацій

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка програми автоматизованого синтезу системи
автоматичного керування за бажаною передавальною функцією»

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-19
(шифр групи)

спеціальності

151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сілецький Владислав Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник в.о. зав. каф. АТ, к.т.н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис)

Рецензент зав. каф. ЕІ, к.т.н., доц.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

ОЛЕКСАНДР КОЛЛАРОВ
(підпис)

Нормоконтроль:

_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)

20.06.2023р.

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Розробка програми автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією»

Виконавець, студент

гр. АКТ-19

Владислав СІЛЕЦЬКИЙ

(підпис, дата,

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата,

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата,

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Ганна Теличко

(підпис, дата,

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата,

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк 2023р.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Поцєпаєв В.В., в.о. зав. каф. АТ		
	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
нормоконтроль	Жуковська Д.О.	-	20.06.2023р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз існуючих засобів автоматизованого синтезу систем автоматичного керування	03.05.2023	
2	Огляд сучасних алгебраїчних методів синтезу систем автоматичного керування	10. 05.2023	
3	Розробка програми автоматизованого синтезу САК за бажаною передавальною функцією замкнутої системи	25. 05.2023	
4	Синтез астатичної САК	28.05.2023	
5	Моделювання перехідних процесів в синтезованій системі автоматичного керування	30.05.2023	
6	Розробка заходів з охорони праці	06.06.2023	
7	Оформлення роботи	12.06.2023	

Студент _____
(підпис)

Владислав СІЛЕЦЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Валерій ПОЦЕПАЄВ
(прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Сілецький Владислав Сергійович «Розробка програми автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Зміст пояснювальної записки до бакалаврської роботи: 61 сторінка, 13 рисунків, 14 посилань на використані джерела.

Об'єкт розробки – програма автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи.

Мета роботи – програма автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи та дослідження результатів синтезу.

Методи й засоби розробки: методи аналізу та синтезу систем теорії автоматичного керування, програмування та математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

Розроблено програму в середовищі MATLAB для автоматизованого синтезу лінійної системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи. Моделюванням доведено ефективність програми, котра забезпечує швидкі та монотонні перехідні процеси в синтезованій системі.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ПРОГРАМА, СИНТЕЗ, БАЖАНА ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
1.1 Автоматизовані методи синтезу лінійних систем автоматичного керування	11
1.2 Алгебраїчні методи синтезу систем автоматичного керування	20
Висновки до розділу 1.....	23
1.4 Мета та завдання роботи	24
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗА БАЖАНОЮ ПЕРЕДАВАЛЬНОЮ ФУНКЦІЄЮ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ	25
2.1 Алгоритм автоматизованого структурно-параметричного синтезу лінійної системи автоматичного керування	25
2.1.1 Визначення передавальної функції ідеального регулятора	27
2.1.2 Визначення передавальної функції реального регулятора.....	30
2.1.3 Налаштування регулятора реальної системи керування	33
2.2 Визначення коефіцієнтів помилок синтезованої системи автоматичного керування.....	35
2.3 Програма автоматизованого синтезу за бажаною передавальною функцією замкнутої системи.....	38
2.4 Simulink модель для дослідження та налаштувань синтезованої САК.....	42
2.5 Висновки до розділу 2.....	45
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
Додаток А. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	50
А.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження.....	50

A.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників відділу АСУ ТП.....	50
A.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників відділу АСУ ТП.....	51
A.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції для відділу АСУ ТП.....	53
A.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання.....	56
A.6 Пожежна безпека.....	58
A.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	59

ВСТУП

Актуальність роботи. У теорії автоматичного керування найбільш складним та трудомістким завданням є синтез передавальної функції регулятора (послідовного керуючого пристрою) за заданою передавальною функцією об'єкта керування та заданими показниками якості керування. До того ж процес синтезу системи у більшості випадків є ітеративним, що потребує багатократного виконання складних аналітичних обчислень навіть при використанні добре розроблених методів синтезу лінійних систем.

Усунути вказані проблеми процеси синтезу можливо єдиним шляхом – автоматизацією виконання його алгоритму з візуальним контролем виконання всіх його етапів та кінцевого результату. Іншими словами – програмно реалізувати метод синтезу. Найбільш відповідні комп'ютерному програмуванню є алгебраїчні методи синтезу. Через це розробка програми синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи є актуальним науковим та методичним завданням.

Об'єкт розробки – програма автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи.

Мета роботи – програма автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи та дослідження результатів синтезу.

Методи й засоби розробки: методи аналізу та синтезу систем теорії автоматичного керування, програмування та математичне моделювання в середовищі MATLAB/Simulink.

Для досягнення мети потрібно вирішення наступних завдань:

- 1) Виконати огляд методів синтезу лінійних систем автоматичного керування та їх автоматизації.

2) Розробити програму автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією системи.

3) Розробити Simulink модель синтезованої системи та виконати її дослідження.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена програма автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією може використовуватись для автоматизації синтезу лінійних систем керування і є альтернативою або доповненням для існуючих засобів автоматизованого синтезу.

Апробація роботи. Основні тези бакалаврської роботи доповідалися та обговорювалися на online семінарі, що відбувся на кафедрі Автоматики та телекомунікацій, також програма синтезу використовувалась та перевірялась при виконанні лабораторних робіт.

Структура та обсяг бакалаврської роботи. До змісту роботи входять: вступ, три розділи, висновки по роботі, перелік використаних літературних джерел та додаток. Обсяг роботи складає 61 сторінку. Робота проілюстрована 13 рисунками, має 14 посилань на використані літературні джерела.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Автоматизовані методи синтезу лінійних систем автоматичного керування

Найбільш повний та докладний опис автоматизації синтезу за методом бажаної частотної характеристики розімкнутого контуру синтезованої системи автоматичного керування наведено у методичній роботі [1]. Велика увага в цій роботі приділена опису програми автоматизованого синтезу та деталям її використання для синтезу САК статичними та астатичними об'єктами керування високого порядку.

Достоїнствами програми автоматизованого синтезу є повне та наочне представлення результатів синтезу: передавальної функції синтезованого регулятора, графічне зображення перехідних процесів у синтезованій системі, прямих показників якості проекрованої САК, показників стійкості та коефіцієнтів динамічних помилок.

Іншою корисною опцією програми є редукування синтезованого регулятора, що дає можливість знизити порядок системи керування і, отже, спростити його технічну реалізацію. При цьому для редукованої системи виводиться повний набір характеристик, що вказані вище. Редукування виконується за принципом знаходження частотної характеристики, близької до частотної характеристики САК повного порядку. На жаль, незважаючи на ґрунтовно написану програму, вказаний метод в результаті синтезу дає САК з невисокими показниками якості, особливо при синтезі астатичних системи керування.

Активну участь у розробці та тестуванні першої версії програми автоматизованого синтезу, що описана вище, брав автор роботи [2]. В роботі виконано опис програми щодо використання традиційної та спрощеної

методики побудови бажаної логарифмічної частотної характеристики (ЛАЧХ). Спрощена побудова бажаної ЛАЧХ полягає у відсутності високочастотної з'єднувальної асимптоти, тобто, середньочастотна асимптота починається від ЛАЧХ об'єкта керування. На рис. 1.1 наведено побудову бажаної ЛАЧХ за спрощеною методикою.

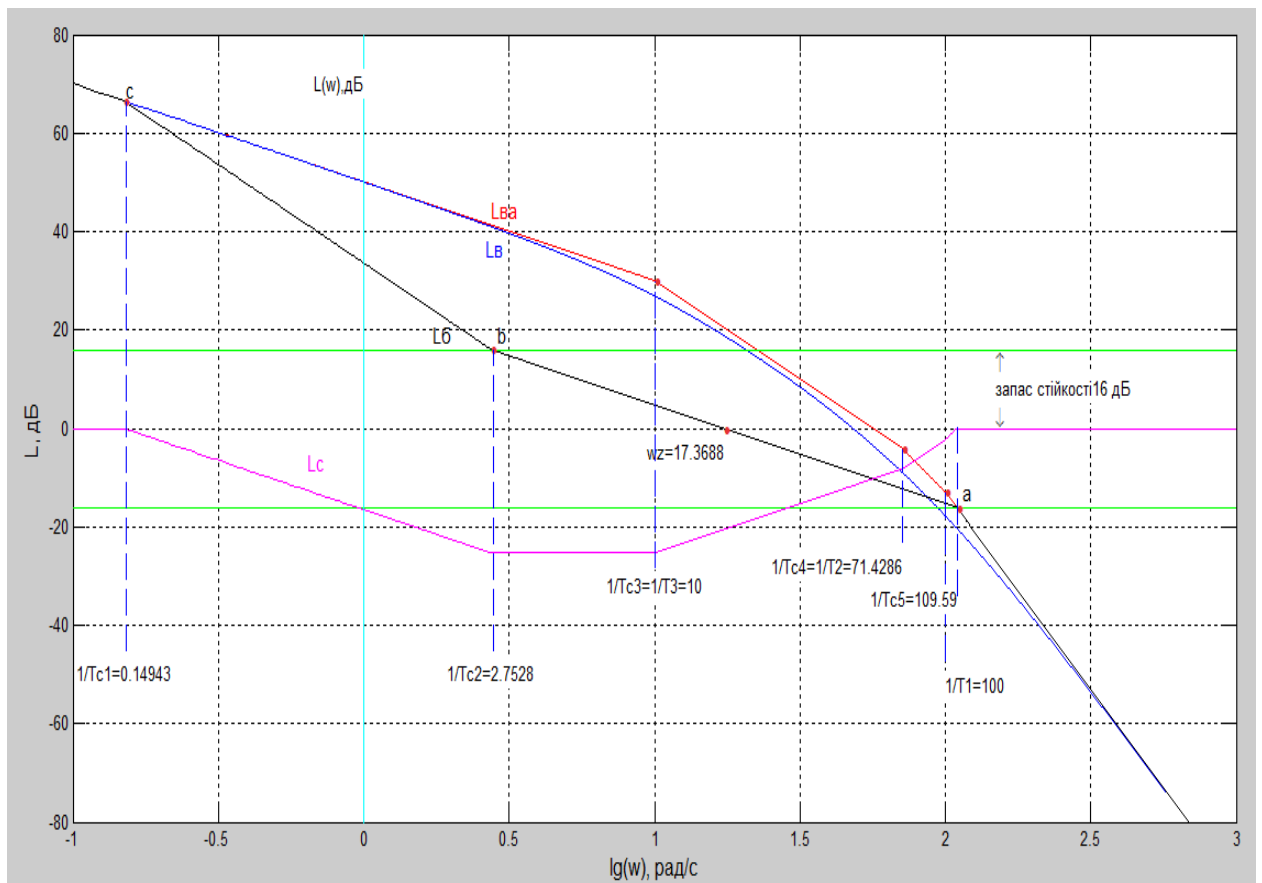


Рисунок 1.1. – Графічні побудови програми автоматизованого синтезу за методом бажаної ЛАЧХ

Бажана ЛАЧХ на рисунку позначена чорною лінією. Початок середньочастотної асимптоти – точка а, лежить безпосередньо на ЛАЧХ об'єкта керування. Зроблено висновки про доцільність використання спрощеної методики побудови бажаної ЛАЧХ, а також про те, що отримані показники якості синтезованих в роботі САК не гірші ніж заявлені або гарантовані в науковій літературі за повними методиками [3...10].

Найбільш широкі можливості для завдань дослідження та синтезу систем автоматичного керування має середовище MATLAB. В цій системі в бібліотеці Control system toolbox є ціла низка функцій, що виконують автоматизований синтез регуляторів за математичною моделлю об'єкта керування [11].

Функція lqr

Функція lqr - Linear-Quadratic Regulator (LQR) design. Ця функція виконує синтез оптимального регулятора для безперервної системи $[K, S, e] = \text{lqr}(A, B, Q, R, N)$. Функція повертає матрицю K зворотних зв'язків таку, що закон управління $u = -Kx$ мінімізує квадратичний критерій якості для безперервної моделі у просторі станів [11].

Функція lqgreg формує лінійно-квадратичний регулятор Гауса (LQG), поєднуючи спостерігач Калмана, розроблений за допомогою kalman, і оптимальний коефіцієнт посилення зворотного зв'язку, розроблений за допомогою функцій автоматизованого синтезу lqr, dlqr або lqry. Регулятор LQG мінімізує деяку квадратичну функцію витрат, яка поєднує ефективність регулювання та зусилля з контролю збурень. Цей регулятор є динамічним і базується на вимірюванні шумів на виході системи для генерування команд регулювання [11].

Автоматизоване налаштування PID регуляторів.

Бібліотека Control system toolbox також містить декілька інструментів та команд для автоматизованого налаштування PID регуляторів.

Для автоматичного налаштування PID регулятора пропонується вибір найбільш підходящого для завдання параметричного синтезу програмного інструмента PID Tuner:

- автоматичне інтерактивне налаштування ПІД-регулятора SISO у прямому каналі одноконтурної конфігурації керування з єдиним зворотним зв'язком та відомою математичною моделлю об'єкта керування;
- інтерактивна підгонка моделі об'єкта керування з вимірних даних реакції SISO та автоматичне налаштування ПІД-регулятора для отриманої моделі.

Для отримання математичної моделі об'єкта керування використовується програмне забезпечення бібліотеки засобів ідентифікації System Identification Toolbox.

– SISO Design Tool – налаштування ПІД-регуляторів у будь-якій іншій конфігурації контуру, що включає наступні етапи:

1. Відкриття SISO Design Tool.
2. Використання вузла завдань проектування SISO в менеджері інструментів контролю та оцінки.
3. Імпорт моделей у інструмент розробки SISO.
4. Визначення структури зворотного зв'язку.
5. Отримання графіків аналізу відповідей циклу синтезу.
6. Використання графічного вікна налаштування
7. Експорт компенсатора та моделей
8. Зберігання та отримання проміжних результатів синтезу

– налаштування PID командного рядка для отримання налаштувань PID контролера для конкретного об'єкта керування, наприклад:

Нехай передавальна функція об'єкта керування має вид:

$$sys = \frac{1}{(s + 1)^3}$$

Вимоги до замкнутої системи – час перехідного процесу – менше ніж 1,5 с, час виходу на усталений режим має не перевищувати 6 с.

Створення моделі об'єкта керування та відкриття PID Tuner, щоб спроектувати PI-регулятор на початковій стадії синтезу

```
sys = zpk([],[-1 -1 -1],1);  
pidtool(sys,'pi')
```

Відкриття PID Tuner вказаними командами автоматично розробляє контролер типу, який ви вказуєте (тут, PI). Контролер розроблений для балансу між продуктивністю (час відгуку) і запасом стійкості. ПІД-тюнер відображає

ступінчасту реакцію замкнутої системи з розробленим контролером, що наведено на рис. 1.2.

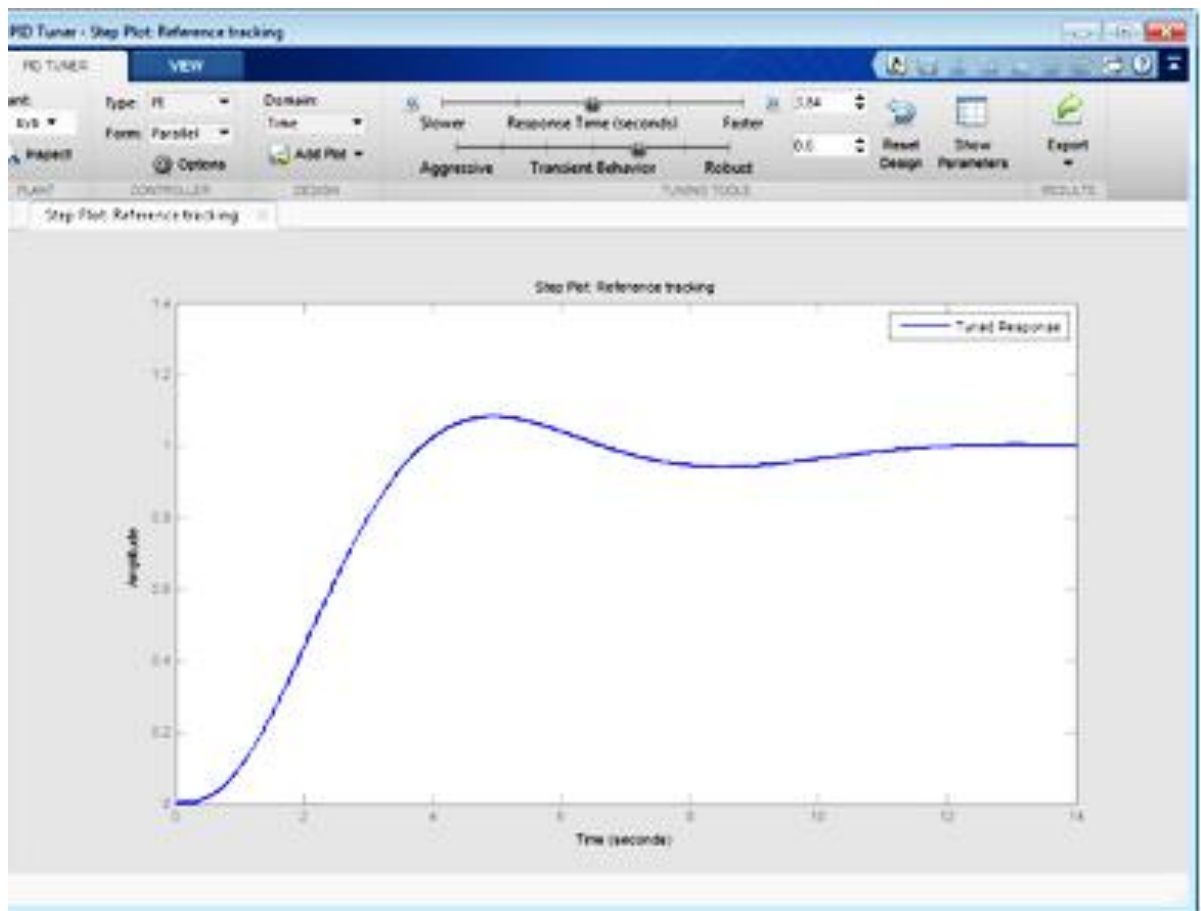


Рисунок 1.2. – Результат попереднього синтезу за допомогою команд PID Tuner

Інтерактивний синтез та налаштування контуру зворотного зв'язку SISO

Синтез контуру зворотного зв'язку здійснюється викликом функції `sisotool`, яка в залежності від типу завдання може приймати різні аргументи [11]:

```
sisotool(plant)
sisotool(plant,comp)
sisotool(plant,comp,sensor,prefilt)
sisotool(views)
sisotool(views,plant,comp)
```

`sisotool(initdata)`

`sisotool(sessiondata)`

Функція `sisotool` відкриває графічний інтерфейс SISO Design для інтерактивного проектування регулятора, або іншими терміном, компенсатора. Цей графічний інтерфейс дозволяє розробити компенсатор з одним входом/одним виходом (SISO) за допомогою кореневого геометричного місця, діаграми Боде, методів Ніколса та Найквіста. Також можна автоматично синтезувати компенсатор за допомогою цього GUI.

За замовчуванням інструмент розробки SISO:

- Відкриває диспетчер інструментів контролю та оцінки з вузлом SISO Design Task за замовчуванням.
- Відкриває редактор графічного налаштування з геометричним місцем коренів та діаграмами Боде з розімкнутого контуру САК.
- Розміщує компенсатор C у прямому контурі послідовно з об'єктом керування G .
- Припускає, що попередній фільтр, F , і датчик регульованої координати, H , мають одиничний коефіцієнт посилення. Після визначення G і H вони фіксуються в структурі зворотного зв'язку.

Архітектура керування при синтезі системи керування за замовчуванням показана рис. 1.3.

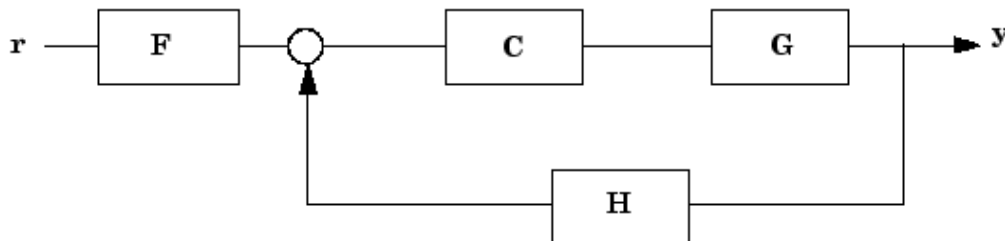


Рисунок 1.3 – Архітектура керування за замовчуванням при синтезі системи автоматичного керування з неединичним зворотним зв'язком

Доступно шість видів архітектури керування. Для отримання додаткової інформації про них дивіться `sisoinit`.

На рисунку 1.4 зображено графічний редактор SISO Design.

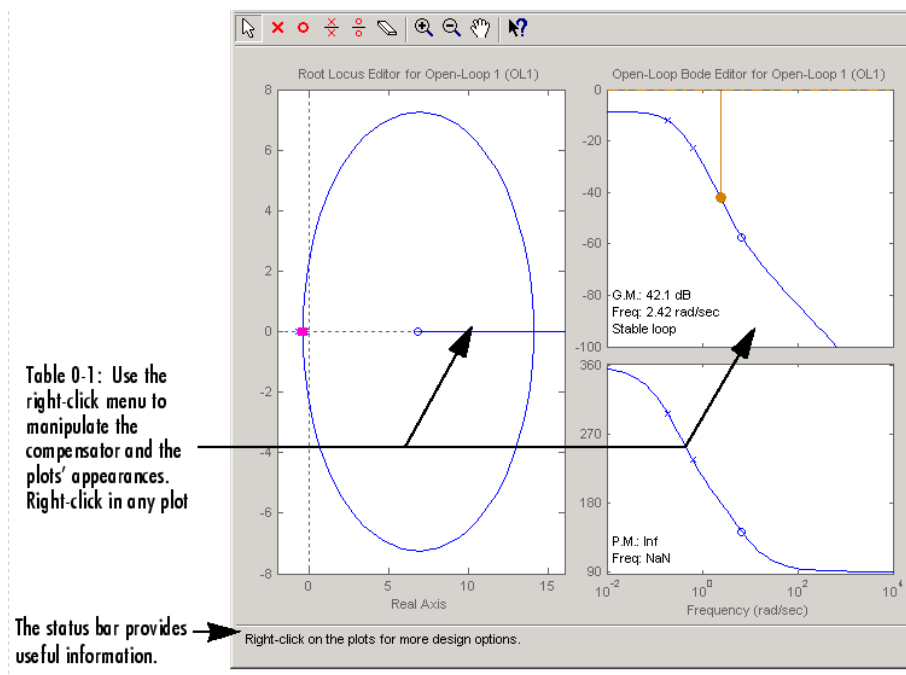


Рисунок 1.4 – Графічний редактор SISO Design

Функція `sisotool(plant)` відкриває SISO Design Tool, імпортує об'єкт керування G та ініціалізує модель об'єкта керування G .

Об'єкт керування G може бути будь-якою моделлю SISO LTI, створеною за допомогою `ss`, `tf`, `zpk` або `frd`, або масивом рядків чи стовпців моделей LTI.

Функція `sisotool(plant,comp,sensor,prefilt)` ініціалізує об'єкт керування G для об'єкта керування, компенсатор C для `comp`, датчик H для датчика та попередній фільтр F для попереднього фільтрування. Датчик – це об'єкт LTI або масив рядків чи стовпців об'єктів LTI. Якщо об'єкт керування також є масивом об'єктів LTI, довжини масивів датчика та об'єкта керування мають збігатися. `Prefilt` є об'єктом LTI.

Функція `sisotool/views` або `sisotool/views,plant,comp` визначає початкову конфігурацію SISO Design Tool. представлення можуть бути будь-якими з наступних рядків (або їх комбінацією):

'rlocus' — графік кореневого локуса, тобто розташування коренів;

'bode' — діаграми Бode реакції розімкнутого контуру;

'nichols' — ділянка Ніколса;

'фільтр' — діаграми Бode попереднього фільтра F і відповідь замкнутої системи від команди в F до виходу об'єкта керування G .

Наприклад:

```
sisotool('bode')
```

відкриває інструмент проектування SISO лише з діаграмами Бode. Якщо існує більше одного подання, подання вказуються в масиві клітинок.

Функція `sisotool(initdata)` ініціалізує SISO Design Tool більш загальними конфігураціями системи керування. Використовується `sisoinit` для створення структури даних ініціалізації `initdata`.

Функція `sisotool(sessiondata)` відкриває інструмент розробки SISO із попередньо збереженим сеансом, де `sessiondata` є MAT-файлом для збереженого сеансу.

Дуже потужною для синтезу модальних регуляторів є функція MATLAB `acker`, яка за моделлю об'єкта керування повертає вектор коефіцієнтів зворотних зв'язків, тобто, синтезує модальний регулятор за методом Акермана [11]. Функція `acker` виконує вибір розміщення полюсів за формулою Акермана.

$K = \text{acker}(A,B,P)$ обчислює матрицю зворотного зв'язку K таким чином, що система з одним входом $\dot{x} = Ax + Bu$ із законом зворотного зв'язку $u = -Kx$ має замкнуті полюси значення, вказані у векторі P , тобто, $P = \text{eig}(A-B*K)$.

Цей алгоритм використовує формулу Аккермана. Цей метод не є чисельно надійним і починає швидко ламатися для задач порядку більше 10 або для слабкерованих систем. Якщо замкнутий контур ненульовий,

друкується попереджувальне повідомлення, що полюсів більше ніж на 10% від вказаних бажаних місць в Р.

Таке ж завдання можна виконати за допомогою функції `place(A,B,p)` або `[K,prec,message] = place(A,B,p)`, що також повертає вектор К, за розміщенням полюсів об'єкта керування р.

Ще важливою функцією, що безпосередньо стосується автоматизованого синтезу, є функція `balred` [11]. Виклик функції:

```
rsys = balred(sys,ORDERS)
```

```
rsys = balred(sys,ORDERS,BALDATA)
```

```
rsys = balred(__,opts)
```

Ця функція обчислює редуковану апроксимацію `rsys` ЛТІ моделі `sys`, тобто, знижує порядок `sys` за параметром `ORDERS`. Цей параметр має бути не меншим ніж порядок `sys`.

Можливо спробувати кілька порядків одночасно, встановивши `ORDERS` у вектор цілих чисел, у цьому випадку `rsys` є вектором моделей зменшеного порядку. `balred` використовує методи неявного балансування для обчислення `rsys` наближення зменшеного порядку. Для кращої роботи `balred` доцільно використовувати функцію `hsvd`, для знаходження сингулярних чисел Ганкеля, що дозволить вибрати адекватний порядок редукованого наближення. Стани з відносно малими сингулярними значеннями Ганкеля можна безпечно відкинути. Виклик `hsvd`

```
hsv = hsvd(sys)
```

```
hsv = hsvd(sys,'AbsTol',ATOL,'RelTol',RTOL,'Offset',ALPHA)
```

```
hsv = hsvd(sys, opts)
```

```
hsvd(sys)
```

```
[hsv,baldata] = hsvd(sys)
```

Коли `sys` має нестабільні полюси, вони спочатку розкладається на стабільну та нестабільну частини за допомогою `stabsep`, і лише стабільна частина апроксимується.

$rsys = balred(sys, ORDERS, BALDATA)$ використовує дані балансування, які повертає $hsvd$. Оскільки $hsvd$ виконує більшу частину обчислень, необхідних для обчислення $rsys$, цей синтаксис більш ефективний при спільному використанні $hsvd$ і $balred$.

1.2 Алгебраїчні методи синтезу систем автоматичного керування

Алгебраїчні методи синтезу систем автоматичного керування найбільш ефективні при автоматизації алгоритму виконання синтезу, оскільки не потребують складних графічних побудов, що притаманно графічно-аналітичним методам.

В роботі [12] запропоновано та детально розглянуто алгебраїчний метод синтезу регуляторів на основі максимального ступеню стійкості синтезованої САК. Максимальним або граничним ступенем стійкості автор називає

$$\eta_r = 1/n \cdot a_1/a_0, \text{ де } f(z) = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n \ (a_0 > 0) -$$

характеристичний поліном САК.

Автор викладає алгоритм синтезу регуляторів, демонструє його застосування для об'єктів керування другого та третього порядків, виконує синтез П, ПІ, ПД та ПІД регуляторів для вказаних об'єктів.

Описаний метод синтезу є параметричним, тобто застосовується тільки при відомій структурі регулятора. Невідомо з викладеного як застосовувати метод при довільних поліномах чисельника та знаменника регулятора. Другим питанням до методу є невідомі прямі показники якості керування та форма перехідних процесів синтезованої САК за вказаним методом.

Наведено числові приклади синтезу вказаних типових регуляторів, але й у числових прикладах показники якості перехідних процесів у такий спосіб синтезованої системи керування невідомі.

В цій же роботі [12] у главі 2 автором викладено метод синтезу лінійної системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи. Бажана передавальна функція замкнутої системи визначається як

$$W_b(p) = \frac{W_r(p)W_{obj}(p)}{1+W_r(p)W_{obj}(p)} ,$$

Звідки знаходиться передавальна функція регулятора

$$W_r(p) = \frac{W_b(p)}{(1-W_b(p))W_{obj}(p)}$$

Метод синтезу систем управління за бажаною передавальною функцією включає методику синтезу передавальної функції регулятора при заданій бажаній передавальній функції та визначення бажаної передавальної функції за заданими вимогами до синтезованої системи керування [12].

Визначення бажаної передавальної функції ґрунтується на використанні нормованої передавальної функції. Розглядається чотири типи нормованих передавальних функцій: біномний, коливальний, геометричний та арифметичний [12].

Автором розглянуто умови реалізованості системи та її робастності стосовно методу, що розглядається. Вказується, що при синтезі за методом бажаної передавальної функції робастність системи може порушитись, якщо правий нуль передавальної функції регулятора буде компенсувати правий полюс передавальної функції об'єкта керування і правий нуль передавальної функції об'єкта компенсується правим полюсом регулятора. Також може порушитись реалізованість САК при отриманні передавальної функції регулятора, у якій ступінь чисельника більше ступеня знаменника.

Далі автор виконує факторизацію передавальної функції об'єкта керування

$$W_0(s) = \frac{P(s)}{R(s)} = \frac{P^-(s)P^+(s)}{R^-(s)R^+(s)},$$

де $P^-(s)$ та $R^-(s)$ – поліноми з лівими нулями, $P^+(s)$ та $R^+(s)$ – поліноми з правими та нейтральними нулями. Звідси передавальна функція регулятора

$$W_p(s) = \frac{P^-(s)P^+(s)}{R^-(s)R^+(s)} \frac{W_{\text{ж}}(s)}{1-W_{\text{ж}}(s)}.$$

Для виконання умови реалізованості бажана передавальна функція має задовольняти наступним умовам

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{P^+(s)M(s)}{G(s)}$$

$$1 - W_{\text{ж}}(s) = \frac{R^+(s)N(s)s^{rp}}{G(s)},$$

де $M(s)$ та $N(s)$ невідомі поліноми, які у подальшому мають бути знайдені з поліноміального рівняння

$$P^+(s)M(s) + R^+(s)N(s)s^{rp} = G(s),$$

де $G(s)$ – знаменник бажаної передавальної функції,

s^{rp} – порядок астатизму синтезованої системи.

Знаходиться умова розв'язності поліномів $M(s)$ та $G(s)$, яка визначається, що число рівнянь $n_G + 1$ не має перевищувати число невідомих $n_M + n_N + 2$, тобто

$$n_G \geq n_M + n_N + 1.$$

Знаходиться умова фізичної реалізованості, за якою порядок чисельника бажаної передавальної функції не повинен бути вище за порядок знаменника

$$n_{R^-} + n_M \leq n_{P^-} + n_N + r_p.$$

Знаходиться умова робастності - ступені поліномів чисельника та знаменника рівні між собою:

$$n_G = n_{R+} + n_N + r_p.$$

З урахуванням викладеного надається алгоритм синтезу регулятора, при виконанні якого синтезується його передавальна функція

$$W_p(s) = \frac{R^-(s)(s)}{P^-(s)N(s)s^{r_p}}$$

Подальше викладення методу присвячено визначенню бажаної передавальної функції замкненої за вимогами до показників якості – перерегулюванню та часу перехідного процесу. Слід зазначити, що визначення бажаної передавальної функції за показниками якості представляє собою досить складний та громіздкий процес з залученням моделювання, викладання якого виходить а межі цієї роботи.

З приводу викладеного методу можна робити висновок, що його виконання являє собою складний та громіздкий процес. Отримання передавальної функції регулятора та оцінку обраної бажаної передавальної функції замкненої системи може бути суттєво спрощено застосуванням моделювання та перевіркою результатів синтезу за відомими критеріями.

Висновки до розділу 1

1. У найбільш повній мірі та широко програмні засоби автоматизованого синтезу представлені в системі MATLAB.
2. Програми синтезу, що виконують повністю структурно-параметричний алгоритм синтезу регуляторів, майже відсутні за рідким виключенням, можливо через складну неоднозначність завдання.

3. У доступних джерелах відсутня інформація програмної реалізації алгебраїчного методу синтезу САК за бажаною передавальною функцією замкненої системи.

1.4 Мета та завдання роботи

Для досягнення мети потрібно вирішення наступних завдань:

- 1) Виконати огляд методів синтезу лінійних систем автоматичного керування та їх автоматизації.
- 2) Розробити програму автоматизованого синтезу системи автоматичного керування за бажаною передавальною функцією системи.
- 3) Розробити Simulink модель синтезованої системи та виконати її дослідження.

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЗА БАЖАНОЮ ПЕРЕДАВАЛЬНОЮ ФУНКЦІЄЮ ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ

2.1 Алгоритм автоматизованого структурно-параметричного синтезу лінійної системи автоматичного керування

Теоретичною основою для виконання завдання автоматизованого структурно-параметричного синтезу є зв'язок між передавальною функцією розімкнутої та замкнутої системи з одиничним негативним зворотним зв'язком [1...4]

$$W_{sys}(p) = \frac{W_{roz}(p)}{1+W_{roz}(p)} \quad \text{або} \quad (2.1)$$

$$W_{sys}(p) = \frac{W_r(p)W_{obj}(p)}{1+W_r(p)W_{obj}(p)} . \quad (2.2)$$

Якщо передавальну функцію замкнутої системи $W_{sys}(p)$ замінити на бажану $W_b(p)$, тобто

$$W_b(p) = \frac{W_r(p)W_{obj}(p)}{1+W_r(p)W_{obj}(p)} , \quad (2.3)$$

можна виразити з (2.3) передавальну функцію регулятора $W_r(p)$

$$W_r(p) = \frac{W_b(p)}{(1-W_b(p))W_{obj}(p)} \quad (2.4)$$

Саме з визначення передавальної функції такого ідеального регулятора $W_r(p)$ по відомій передавальній функції об'єкта керування $W_{obj}(p)$ та завданій бажаній функції замкнутої системи $W_b(p)$ починається алгоритм

синтезу лінійної системи автоматичного керування. Блок-схема укрупненого алгоритму наведена на рис. 2.1.

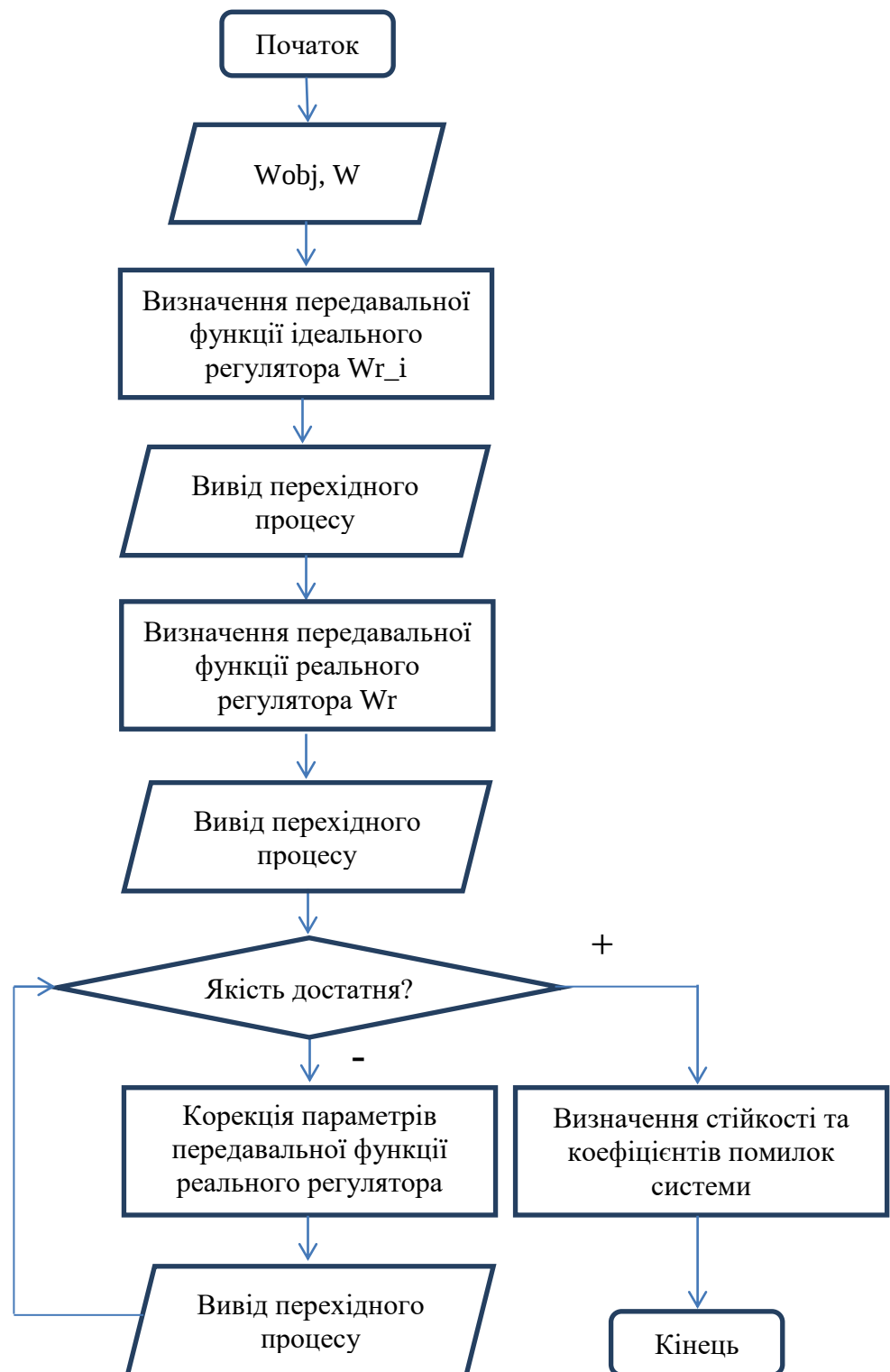


Рисунок 2.1 – Укрупнений алгоритм автоматизованого синтезу лінійної САК за бажаною передавальною функцією замкнутої системи

Наведена блок-схема показує, що алгоритм складається з трьох основних блоків зі схожою послідовністю дій. В результаті виконання послідовності дій кожного блоку визначається передавальна функція шуканого регулятора або з новою структурою або з новими параметрами.

Подальші пояснення будуть більш зрозумілими, якщо їх робити стосовно синтезу конкретного об'єкта керування. Нехай стоїть завдання синтезувати регулятор для астатичного об'єкта керування четвертого порядку з передавальною функцією

$$\begin{aligned} W_{OBJ} &= \frac{200}{s(0.02s+1)(0.09s^2+2*0.8*0.09s+1)} = \\ &= \frac{200}{0.000162 s^4 + 0.01098 s^3 + 0.164 s^2 + s} . \end{aligned}$$

Передавальна функція W_{OBJ} представляє собою послідовне з'єднання інтегратора, інерційної ланки та коливальної ланки з постійною часу 0,09 та декриментом згасання 0,8.

Бажана передавальна функція замкнутої системи в цьому прикладі має вигляд

$$W_b = \frac{1}{(0.1 s + 1) (0.05 s + 1)} = \frac{1}{0.005 s^2 + 0.15 s + 1} .$$

2.1.1 Визначення передавальної функції ідеального регулятора

В першому блоці дій наведеної блок-схеми за виразом 2.4 знаходиться передавальна функція ідеального регулятора, яка після видалення кратних коренів має вигляд

$$W_{r_i_mir} = \frac{0.000162 s^3 + 0.01098 s^2 + 0.164 s + 1}{s + 30}$$

або у zpk формі

$$W_{r_i_zpk} = \frac{0.000162 (s+50) (s^2 + 17.78s + 123.5)}{(s+30)}$$

Ідеальність регулятора видно з виразу $W_{r_i_zpk}$, де по перше – чисельник містить форсувальні ланки, що компенсують інерційну та коливальну ланку об'єкта керування, по друге – порядок знаменника на два менше ніж порядок чисельника.

Після видалення кратних коренів передавальна функція розімкнутого контуру ідеальної системи має вид

$$W_{roz_i_mir} = \frac{200}{s^2 + 30 s}, \text{ а передавальна функція замкнутої системи}$$

має вираз

$$W_{sys_i_mir} = \frac{200}{s^2 + 30 s + 200} = \frac{1}{0.005 s^2 + 0.15 s + 1} = W_b.$$

Тобто, передавальна функція синтезованої ідеальної замкнутої системи з ідеальним регулятором представляє собою завдану бажану передавальну функцію.

Реакція ідеальної системи на східчасту функцію наведена на рис. 2.2. Слід зазначити, що перехідний процес розгону ідеальної системи є аперіодичним та монотонним. Час регулювання складає близько 0,6 с, що цілком відповідає часовим параметрам бажаної передавальної функції.

Перевірено стійкість ідеальної САК за логарифмічним критерієм Найквіста за допомогою функції MATLAB `margin(Wroz_i)`. Результат перевірки показано на рис. 2.3

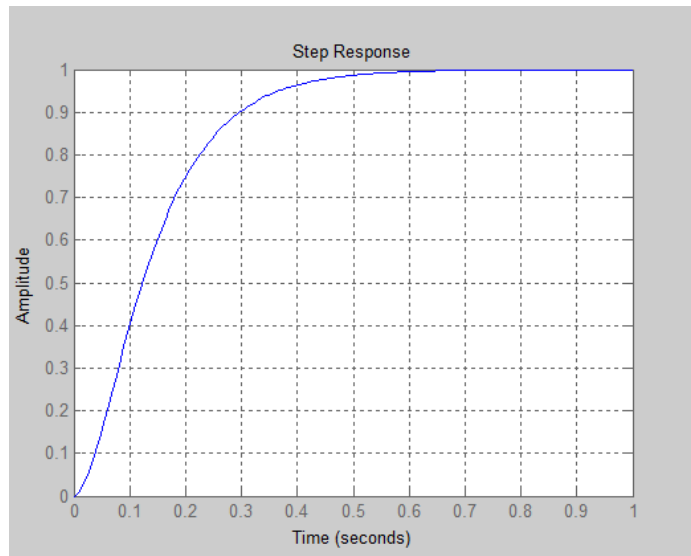


Рисунок 2.2 – Реакція ідеальної системи на східчасту функцію

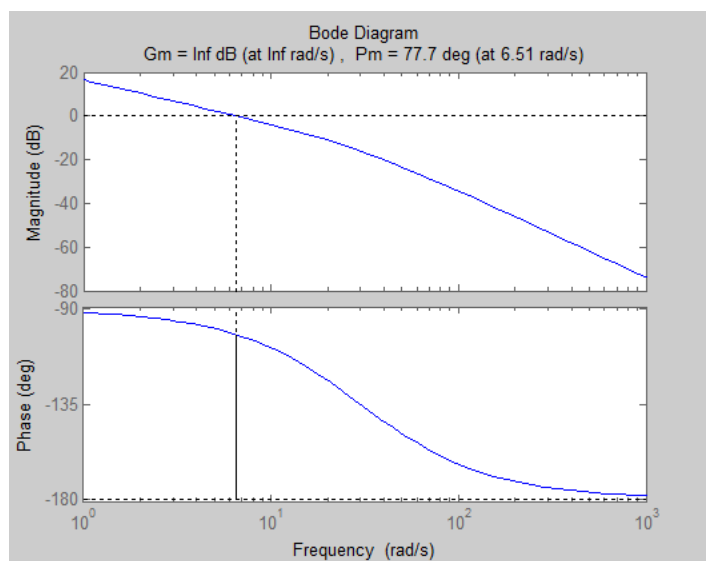


Рисунок 2.3 – Перевірка стійкості ідеальної САК

Наведений результат перевірки стійкості свідчить, що система є маргінально стійкою за амплітудою та має запас по фазі $77,7^\circ$, частота зрізу складає 6,51 рад/с.

2.1.2 Визначення передавальної функції реального регулятора

Далі виконується блок дій, що обчислює передавальну функцію реального регулятора W_{r_kor} шляхом корекції передавальної функції ідеального регулятора. Корекція виконується доповненням передавальної функції ідеального регулятора інерційними ланками першого порядку у кількості, що робить рівним порядок чисельника та знаменника передавальної функції ідеального регулятора. Постійні часу додаткових ланок обираються меншими ніж найменша постійна часу ланок у знаменнику об'єкта керування. Так, найменшу постій часу у розглянутому прикладі має аперіодична ланка першого порядку, її значення 0,02 с. Постійні часу двох додаткових ланок обрані 0,014 та 0,012 с. Під час досліджень встановлено, що рівні значення постійних часу додаткових ланок дають гіршу якість перехідних процесів у порівнянні коли вони рознесені, що дає більш округлий вигин частотної характеристики САК. Слід зауважити, що це суперечить традиційній думці, що ідеальна форма частотної характеристики системи є прямокутною.

Безумовно, постійні часу можуть бути і меншими, що знизить вплив додаткових ланок на динаміку системи, відхилення реального регулятора від ідеального та у підсумку відхилення частотної характеристики реальної системи від ідеальної. Але їх надмірне зменшення спричинить збільшення амплітуди вихідного сигналу регулятора в порівнянні з амплітудою сигналу завдання. Це означає необхідність забезпечити САК додатковою енергією, що не бажано і часто не може бути технічно реалізовано. Іншими словами, якщо у прийнятих масштабах максимальна амплітуда впливу завдання 1, то й амплітуда вихідного сигналу регулятора має не перевищувати рівень 1. За цим потрібно слідкувати в процесі виконання синтезу за методом, що викладається.

Є також інший фактор, що обмежує постійні часу додаткових ланок в структурі реального регулятора. Чим вони менше, тим меншим має бути період дискретизації контролера, на якому буде реалізована система. Це обмежує вибір контролера і, як правило, здорожує апаратну реалізацію системи.

Відповідно до викладеного передавальна функція коригованого реального регулятора має вид

$$W_{r_kor} = \frac{0.000162 s^3 + 0.01098 s^2 + 0.164 s + 1}{0.000168 s^3 + 0.03104 s^2 + 1.78 s + 30},$$

У zpk формі

$$W_{r_kor_zpk} = \frac{0.96429 (s+50) (s^2 + 17.78s + 123.5)}{(s+83.33) (s+71.43) (s+30)}.$$

Наведений вираз моделі zpk свідчить, чисельник коригованого регулятора компенсує інерційність об'єкта керування за відомим фундаментальним принципом компенсації інерційності, знаменник містить додаткові інерційні ланки та ланку обумовлену бажаною передавальною функцією.

Передавальна функція розімкнутого контуру реальної системи після видалення кратних коренів має наступний вид

$$W_{roz_mir} = \frac{1.19e06}{s^4 + 18A.8 s^3 + 1.06e04 s^2 + 1.786e05 s},$$

а полюси її zpk форми

$$W_{roz_mir_zpk} = \frac{1.1905e+06}{s (s+83.33) (s+71.43) (s+30)}$$

показують, що регулятор збільшив нахил частотної характеристики САК в області високих частот у порівнянні з ідеальною системою.

Передавальна функція замкнутої реальної системи після видалення кратних коренів має вид

$$W_{\text{sys_mir}} = \frac{1.19e06}{s^4 + 18A.8 s^3 + 1.06e04 s^2 + 1.786e05 s + 1.19e06},$$

а zpk модель відповідно буде

$$W_{\text{sys_mir_zpk}} = \frac{1.1905e+06}{(s^2 + 21.94s + 173.8)(s^2 + 162.8s + 6849)}.$$

Модель zpk демонструє коливальні корені, тобто перехідні процеси в замкнутій реальній системі будуть коливальні. Для визначення параметрів коливальності розглянуто реакцію реальної САК на одиничний стрибок, що наведено на рис. 2.А.

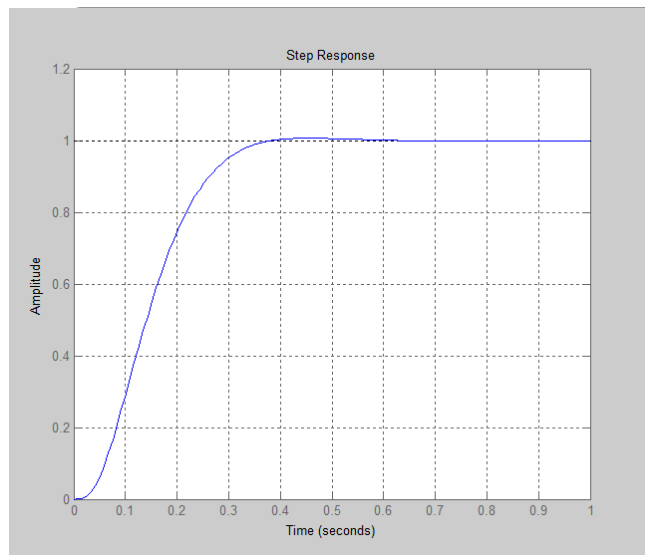


Рисунок 2.4 – Реакція реальної системи на східчасту функцію

Наведений рисунок перехідного процесу показує, що останній є аперіодичним без видимих ознак коливальності, але при використанні багатократного zoom встановлено наявність коливань дуже малої амплітуди.

Значення перерегулювання в даному випадку складає 0,87%, а в абсолютних одиницях 0,0087 – це перший максимум коливального процесу. Другий максимум має значення 0,00005, тобто у 174 менший за перший. Такими коливаннями можна знехтувати, якщо не потрібна їх принципова відсутність.

Оцінена стійкість реальної САК у вказаний вище спосіб, а результати оцінки наведені на рисунку 2.5.

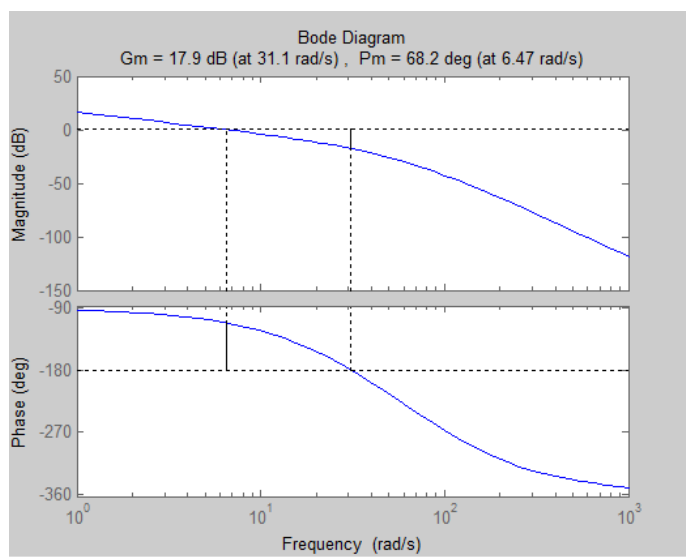


Рисунок 2.5 – Оцінка стійкості реальної САК

Як витікає з рисунка, реальна система цілком стійка. Запас стійкості по амплітуді складає 17,9 дБ, запас по фазі – 68,2°. Частота зрізу практично та ж, що й у ідеальної системи, близько 6,5 рад/с.

Отримані показники якості перехідних процесів та стійкості реальної системи цілком дозволяють зупинити подальший параметричний синтез, але якщо САК прецизійна, необхідні подальші додаткові налаштування.

2.1.3 Налаштування регулятора реальної системи керування

В останньому блоці зазначеної вище блок-схеми виконується послідовність дій по налаштуванню регулятора синтезованої реальної САК,

що спрямовані на покращення показників якості системи керування, та визначення передавальної функції налаштованої реальної САК.

У прикладі, що розглядається, налаштуванню у регуляторі підлягає всього один параметр – коефіцієнт при похідній форсувальної ланки. Шляхом ітеративного підбору визначено таке його значення у бік збільшення, при якому усуваються коливання в перехідному процесі регульованої величини та перерегулювання. З іншого боку занадто велике значення коефіцієнта при похідній зробить перехідний процес затягнутим.

Інший спосіб усунути коливання та перерегулювання – не змінюючи коефіцієнт при похідній, зменшити коефіцієнт передачі регулятора.

Після налаштування зміст та послідовність дій по визначенню передавальної функції W_{sys_p} замкненої налаштованої САК не відрізняється від описаних вище для двох попередніх блоків.

На рис. 2.6 наведено перехідний процес в налаштованій системі (червона лінія). Для порівняння в це ж графічне вікно виведено перехідний процес в ідеальній та синтезованій системі.

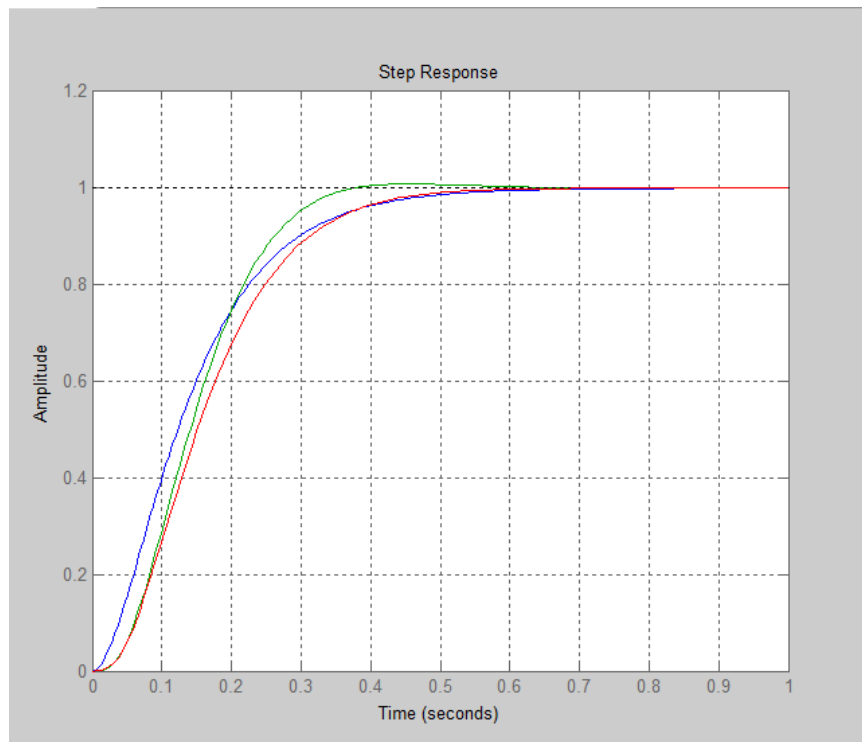


Рисунок 2.6 – Перехідний процес в ідеальній (синя лінія), синтезованій (зелена лінія) та налаштованій системі (червона лінія)

Наведений рисунок свідчить про малу відмінність перехідних процесів у ідеальній та налаштованій САК.

На рис. 2.7 наведено результати дослідження стійкості налаштованої системи.

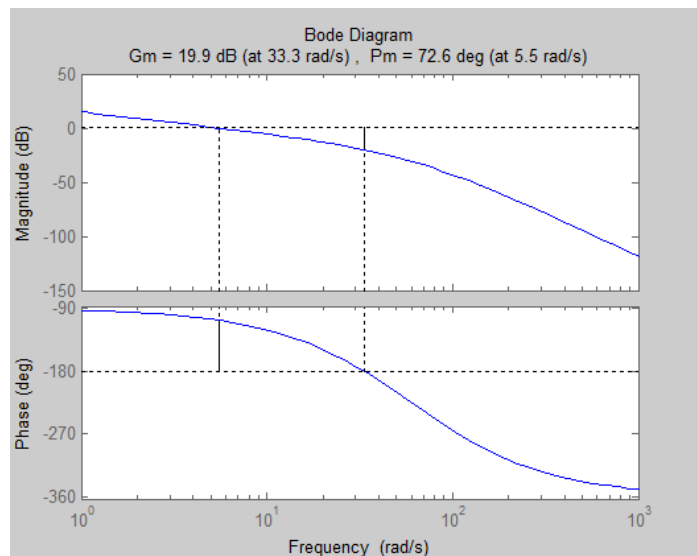


Рисунок 2.7 – Дослідження стійкості налаштованої САК

З наведеного рисунка витікає, що налаштована САК є стійкою з запасом стійкості по амплітуді 19,9 дБ, по фазі – $72,6^\circ$.

2.2 Визначення коефіцієнтів помилок синтезованої системи автоматичного керування

Важливою характеристикою будь-якої САК є її точність. Динамічна точність САК характеризується коефіцієнтами помилок, які визначаються за методом коефіцієнтів помилок. Цей метод застосовується при довільних впливах як за завданням, так і за збуренням. Точність методу погіршується при швидко осцилюючих впливах.

Згідно з названим методом коефіцієнти помилок визначаються наступним чином.

Передавальна функція стосовно сигналу помилки а завданням визначається виразом

$$W_{\text{ЕЗ}}(p) = \frac{E(p)}{X(p)} = \frac{1}{1+W_{\text{рег}}(p)W_{\text{об}}(p)}$$

Звідси зображення сигналу помилки

$$E(p) = W_{\text{ЕЗ}}(p)X(p) = X(p) \frac{1}{1+W_{\text{рег}}(p)W_{\text{об}}(p)}$$

Якщо розкласти передавальну функцію за помилкою $W_{\text{ЕЗ}}(p)$ в ряд за зростаючим ступенями p в околицях точки $p=0$, що відповідає усталеній помилці при відомому впливі завдання, тоді вираз зображення для сигналу помилки буде виглядати

$$E(p) = \left[C_0 + C_1 p + \frac{1}{2!} C_2 p^2 + \frac{1}{2!} C_2 p^2 + \frac{1}{3!} C_3 p^3 + \dots + \frac{1}{n!} C_n p^n \right] X(p) .$$

Розкривши дужки та застосувавши зворотнє перетворення Лапласа, матимемо оригінал сигналу помилки

$$e(t) = C_0 x(t) + C_1 x'(t) + \frac{1}{2!} C_2 x''(t) + \frac{1}{3!} C_3 x'''(t) + \dots + \frac{1}{n!} C_n x^{(n)}(t),$$

де коефіцієнти $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$ і є коефіцієнти помилок.

Коефіцієнти помилок можна знайти двома способами:

За формулами розкладання $W_{\text{ЕЗ}}(p)$ в ряд Тейлора

$$C_0 = [W_{\text{ЕЗ}}(p)]_{p=0}$$

$$C_1 = \left[\frac{dW_{E3}(p)}{dp} \right]_{p=0}$$

$$C_2 = \left[\frac{d^2 W_{E3}(p)}{dp^2} \right]_{p=0}$$

.....

$$C_n = \left[\frac{d^n W_{E3}(p)}{dp^n} \right]_{p=0}$$

Зазвичай коефіцієнт C_0 називається коефіцієнтом статичної (позиційної) помилки, C_1 – коефіцієнтом швидкісної помилки, C_2 – коефіцієнтом помилки за прискоренням.

У астатичних системах з порядком астатизму n $C_i = 0, i = 0 \dots n - 1$. Інший спосіб обчислення коефіцієнтів помилок полягає в діленні чисельника передавальної функції за помилкою $W_{E3}(p)$ на її знаменник при розташуванні членів поліному в порядку зростання їх ступенів.

З огляду на викладене, при програмуванні обчислення коефіцієнтів помилок необхідно використовувати символну математику, що дає можливість виконувати диференціювання символного виразу передавальної функції за помилкою та підставляти значення $p=0$.

Вихідними даними для обчислення коефіцієнтів помилок є:

передавальна функція розімкнутого контуру після видалення з неї кратних коренів $W_{roz_mir} = \text{minreal}(W_{roz})$;

передавальна функція сигналу помилки за впливом завдання $w = 1/(W_{roz_mir} + 1)$;

масиви коефіцієнтів поліномів чисельника `now` та знаменника `dew` передавальної функції `w`, отримані викликом функції `[now, dew] = tfdata(w, 'v');`;

довжина масивів `now, dew` `n, n=length(dew)`, потрібно зазначити, що кількість елементів в масивах `now` та `dew` формально однакова і дорівнює `n`,

незважаючи на те, що довжина масиву `now` може бути меншою, в цьому випадку відсутнім елементам `now` присвоюється значення 0.

Змінні `fd=0`; `fn=0`; отримують початкове значення 0 тому що в них накопичується у циклі символічні вирази відповідно знаменника та чисельника передавальної функції за помилкою `w`. Змінна `f` містить повний символічний вираз передавальної функції `w`, але зі змінною `x` замість `p`.

Функція `subs(f,0)` виконує підстановку у символний вираз `f` значення `x=0`.

Функція `double` перетворює результат підстановки у речовинну форму.

В операторах $\text{fdif1}=\text{diff}(f)$ та $\text{fdif2}=\text{diff}(\text{fdif1})$ функцією diff обчислюються відповідно перша та друга похідні символьного виразу передавальної функції за помилкою f для обчислення коефіцієнтів швидкісної помилки C_1 та помилки а прискоренням C_2 .

Для налаштованої системи коефіцієнти помилок складають:

$$C_0=0, \quad C_1=0,1, \quad C_2=0,018.$$

2.3 Програма автоматизованого синтезу за бажаною передавальною функцією замкнутої системи

```
% Автоматизований синтез САК за бажаною передавальною функцією  
% замкнутої системи
```



```
clc  
clear all
```



```
%Wb=tf(1,[0.1 1])*tf(1,[0.05 1]) % бажана ПФ замкнутої  
                                     % астатичної системи
```



```
Wb=tf(1,[0.1 1])
```



```
WOBJ=200*tf(1,[1 0])*tf(1,[0.02 1])*tf(1,[0.0081 2*0.8*0.09 1])  
% WOBJ - ПФ об'єкта керування
```



```
%  
%  
%  
%  
%  
%  
%  
%  
%  
%  
%
```

$$WOBJ = \frac{200}{s(0.02s+1)(0.09^2s^2+2*0.8*0.09s+1)}$$

```

WOBJ_zpk=zpk(WOBJ) % ПФ ОК у формі zpk

Wr_i=Wb/((1-Wb)*WOBJ)*1 % Визначення ПФ ідеального регулятора

Wr_i_mir=minreal(Wr_i) % Видалення з ПФ регулятора кратних
% коренів

Wr_i_zpk=zpk(Wr_i_mir) % zpk форма ПФ ідеального регулятора

Wroz_i=Wr_i*WOBJ % ПФ розімкнутої ідеальної системи керування

Wroz_i_mir=minreal(Wroz_i) % Видалення з ПФ Wroz_i кратних
% коренів
[knWroz_i_mir,kdWroz_i_mir]=tfdata(Wroz_i_mir,'v');% Отримання
% коефіцієнтів чисельника knWroz_i_mir та знаменника
% kdWroz_i_mir ідеальної ПФ розімкнутої системи
% для створення цієї ПФ у Simulink моделі

Wsys_i=feedback(Wroz_i,1) % Визначення ПФ ідеальної замкнутої
% САК

Wsys_i_mir=minreal(Wsys_i) % Видалення з ПФ Wsys_i кратних
% коренів

Wsys_i_zpk=zpk(Wsys_i_mir) % ПФ Wsys_i у формі zpk

% У підсумку маємо ідеальну систему з очікуваною завданою
% передавальною функцією. Але ідеальний регулятор неможливо
% реалізувати технічно,
% оскільки знаменник його ПФ на два порядки нижче ніж порядок %
% чисельника. Але для подальшого порівняння результатів синтезу
% з ідеальною системою. доцільно побачити її перехідний процес:
figure(1)
step(Wsys_i,1) % Вивід перехідної функції ідеальної системи.

% Перехідний процес аперіодичний і монотонний, як і має бути
% для завданої ПФ Wsys_i
grid on
figure(11)

margin(Wroz_i)% Запас по фазі та амплітуді ідеальної розімкнутої
% системи. Як видно з рисунка у вікні figure(11), система має
% необмежений запас стійкості по амплітуді, тобто є маргінально
% стійкою, і великий запас стійкості по фазі у 77.7 град при
% частоті зрізу 6.51 рад/с.
%
%+++++

% Для можливості технічно реалізувати регулятор добавимо дві
% інерційні ланки першого порядку з постійними часу меншими за

```

```
% найменшу постійну часу ОК (0.02 с) у ПФ ідеального
% регулятора. Зрозуміло, що чим менше постійні часу
% цих додаткових ланок, тим менше їх вплив на динаміку
% синтезованої САК. З іншого боку чим вони менше, тим меншим
% має бути період дискретизації контролера, на якому буде
% реалізована система. Це обмежує вибір контролера і, як
% правило, здорожує апаратну реалізацію системи. У даному
% прикладі постійні часу додаткових ланок 0.014 та 0.012 с, що
% видно з скоригованої ПФ регулятора Wr_kor.
% Іншим важливим фактором, котрий обмежує зменшення постійних
% часу додаткових ланок, є амплітуда вихідного сигналу
% регулятора, яка не має перевищувати максимальний рівень
% сигналу завдання. У протилежному випадку амплітуда сигналу
% керування буде перевищувати максимально припустимий
% (номінальний) вхідний рівень для об'єкта керування.
% Іншими словами потрібна додаткова енергія керування (напруга,
% струм, тиск, розхід, сила, момент), що ускладнює або
% унеможливорює технічну реалізацію системи. У нашому випадку
% максимальний рівень впливу завдання дорівнює 1. Отже, при
% кожній зміні параметрів регулятора необхідно перевіряти що
% максимальна амплітуда сигналу на виході регулятора не
% перевищує значення +-1. Найпростіше це робити при моделюванні
% системи.
```

```
% Скоригована ПФ регулятора
```

```
%Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.014 1])*tf(1,[0.012 1])*1.
```

```
%Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.012 1])*tf(1,[0.01 1])*1.
```

```
%Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.01 1])*tf(1,[0.01 1])*1.
```

```
%Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.012 1])*tf(1,[0.012 1])*1.
```

```
%Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.014 1])*tf(1,[0.014 1])*1.
```

```
Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.005 1])*tf(1,[0.003 1])*tf(1,[0.002 1])
```

```
% Wr_kor=Wr_i_mir*tf(1,[0.012 1])*tf(1,[0.008 1])
```

```
Wr_kor_mir=minreal(Wr_kor)
```

```
[knWr_kor,kdWr_kor]=tfdata(Wr_kor_mir,'v'); % Отримання
% коефіцієнтів чисельника knWr_kor та знаменника kdWr_kor
% скоригованої ПФ регулятора для створення цієї ПФ у Simulink
% моделі.
```

```
Wr_kor_zpk=zpk(Wr_kor_mir)
```

```
Wroz=Wr_kor*WOBJ
```

```
Wroz_mir=minreal(Wroz)
```

```
Wroz_mir_zpk=zpk(Wroz_mir)
```

```
Wsys=feedback(Wroz_mir,1)
```

```
Wsys_mir=minreal(Wsys)
```

```

Wsys_zpk=zpk(Wsys_mir)
figure(2)
step(Wsys,1)

% Перехідний процес отриманої технічно реалізованої системи
% можна назвати умовно аперіодичним, оскільки має місце дуже
% слабка коливальність з амплітудою менше 0.0001 вже на другому
% максимумі. У більшості випадків такою коливальністю можна
% знехтувати. Перерегулювання складає 0.84%.
grid on
figure(21)
margin(Wroz_mir) % Як видно з рисунка ЛАЧХ у вікні figure(21),
% система є стійкою. Запас стійкості по амплітуді 17.9 дБ,
% запас стійкості по фазі 68.2 град при частоті зрізу 6.47
% рад/с.

% =====

% Синтезована вище реалізована САК може бути налаштована так, що
% коливальність перехідних процесів по керуванню та по збуренню
% буде усунена налаштуваннями регулятора. Найпростіше та
% інтуїтивно зрозуміло налаштування регулятора можна зробити
% зміною коефіцієнтів при похідних у його форсувальних ланках.
% Для зручності та наочності, використовуючи zpk форму ПФ
% регулятора, представимо ПФ регулятора у вигляді двох частин та
% створимо у Simulink модель САК для її налаштування. Файл
% моделі AvtSint_Wb. У вікні AvtSint_Wb побудовано три моделі:
% верхня - модель ідеальної системи, середня - модель
% синтезованої реалізованої САК, нижня - модель для
% налаштувань параметрів регулятора. Налаштовуються два
% параметри - коефіцієнт при похідній форсувальної ланки у
% чисельнику першої ланки регулятора Transfer Fcn2. Його
% вихідне значення 0.02 (50 у zpk формі), це постійна часу %
% інерційної ланки ОК. Налаштоване значення 46, тобто
% коефіцієнт при похідній збільшено до  $1/46=0.0217$ .
% Другий параметр, що налаштовується - декримент згасання у
% форсувальній коливальній ланці у

% чисельнику другої ланки регулятора Transfer Fcn6 (декримент
% згасання входить до коефіцієнту 17.78). Тут декримент
% згасання збільшено з вихідного значення  $17.78/123.5/2/0.09=0.8$ 
% (це декримент згасання коливальної ланки ОК) до
%  $18/123.5/2/0.09=0.81$ .

%Wr_kor_n=0.96429*tf([1 41],[1 30])*tf([1 18 123.5],[1 15A.8
%5952]) % ПФ налаштованого регулятора

Wr_kor_n=0.03*tf([0.033 1],[0.04 1])...
*tf([0.0081 2*0.8*0.09 1],[0.000168 0.026 1])

% Wr_kor_n=0.0575*tf([0.01 1],[0.008 1])*tf([0.02 1],[0.012
1])*...
% tf([0.1 1],[0.033 1])

```

```

Wr_kor_n_mir=minreal( Wr_kor_n)
Wr_kor_n_zpk=zpk(Wr_kor_n_mir)
Wroz_n=Wr_kor_n*WOBJ
Wroz_n_mir=minreal(Wroz_n)
Wroz_n_zpk=zpk(Wroz_n_mir)
Wsys_n=feedback(Wroz_n,1)
Wsys_n_mir=minreal(Wsys_n)
Wsys_n_zpk=zpk(Wsys_n)
figure(3)
step(Wsys_n,1)
grid on
figure(31)
margin(Wroz_n)

%


---



figure(4)
step(Wsys_i,Wsys,Wsys_n,2) % Вивід перехідної функції ідеальної,
% скорегованої, та налаштованої замкнутої системи
grid on
figure(41)

%bode(Wsys_i,Wsys,Wsys_n) % Вивід ЛАЧХ ідеальної, скорегованої,
% та налаштованої системи

grid on

bode(Wroz_i,Wroz_n)
grid on

figure(5)
bode(Wroz,WOBJ)
grid on

%++++ Визначення коефіцієнтів помилок синтезованої системи+++

w=1/(Wroz_mir+1)
[now,dew]=tfdata(w,'v')
n=length(dew);
fd=0;
fn=0;
for i=1:n
    xs=sym(['x^' num2str(i-1)]);
    fn=fn+xs*now(n+1-i);
    fd=fd+xs*dew(n+1-i);
end
f=fn/fd;
C0=double(subs(f,0))
fdif1=diff(f);
C1=double(subs(fdif1,0))
fdif2=diff(fdif1);
C2=double(subs(fdif2,0))

```

2.4 Simulink модель для дослідження та налаштувань синтезованої САК

Дослідження будь-якої системи автоматичного керування, зокрема синтезованої в цій роботі САК, набагато зручніше та ефективніше виконувати на Simulink моделі ніж використовуючи функції MATLAB та стандартні графічні вікна `figure()`. Модель Simulink дозволяє відпрацьовувати будь-які сценарії та функції зміни впливу завдання та збурення, підключати до моделі скрипти та функції MATLAB, генерувати програмний код для програмування контролерів тощо. До того ж користуватись куди більш потужними засобами відображення графічної інформації, що надає Simulink, більш наочно та ручно.

На рис. 2.8 наведено Simulink модель для дослідження та налаштувань синтезованої САК.

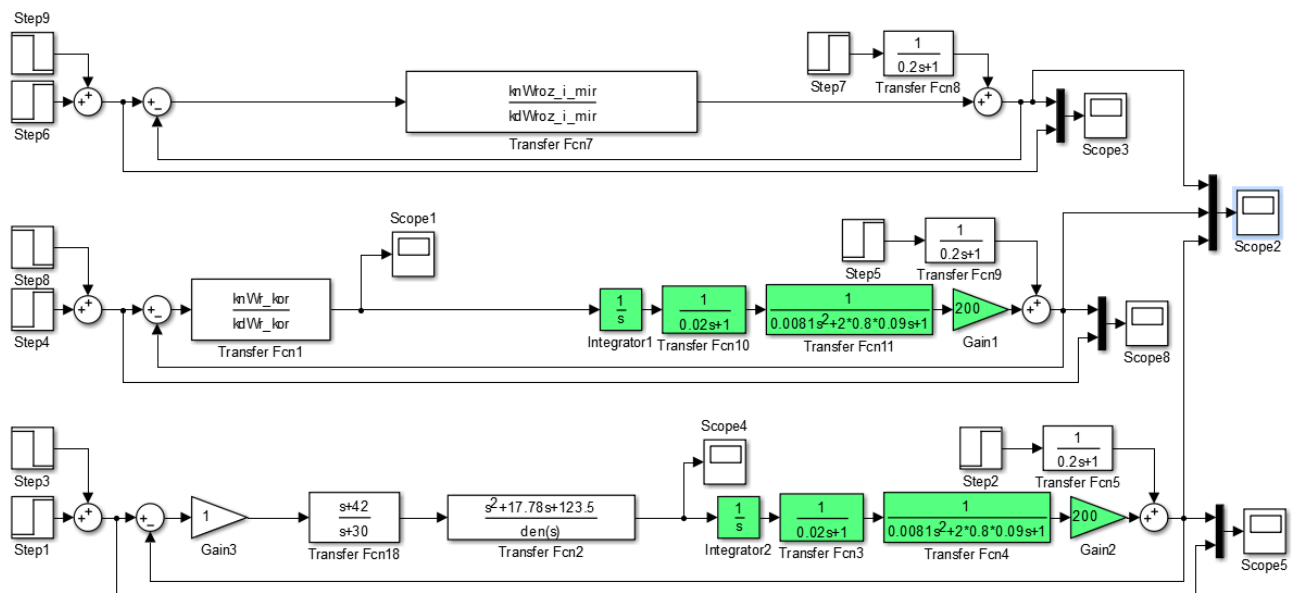


Рисунок 2.8 – Simulink модель для дослідження та налаштувань синтезованої САК

Представлена модель складається з трьох окремих моделей – ідеальної, синтезованої автоматично та налаштованої САК. Регульовані координати кожної з названих систем виведені на загальний Scope2 для їх порівняння.

Верхня модель – ідеальна САК, середня – синтезована програмно, нижня – модель для налаштувань параметрів регулятора, тобто модель налаштованої системи керування.

В верхній моделі блок Transfer fcn7 представляє собою передавальну функцію розімкнутої ідеальної системи. Налаштування цього блоку виконуються автоматично при виконанні програми автоматизованого синтезу, що представлена вище. Таке об'єднане представлення регулятора та об'єкта керування є вимушеним через неможливість відокремити ідеальний регулятор від об'єкта керування.

У середній моделі, регулятор якої визначається автоматично програмою синтезу, блок Transfer fcn1 представляє собою передавальну функцію синтезованого реального регулятора, коефіцієнти якої налаштовуються автоматично через загальну область пам'яті Simulink та MATLAB при виконанні програми синтезу. Зеленим кольором виділено блоки моделі об'єкта керування.

В нижній моделі блоки Gain3, Transfer fcn18 та Transfer fcn2 представляють собою модель регулятора, що налаштовується у формі моделі zpk.

У всіх трьох моделях блоки Step ліворуч задають зміну за часом впливу завдання. Пари блоків Step та інерційної ланки праворуч задають зміну за часом та форму впливу збурення.

Результати моделювання трьох систем наведені на рис. 2.9. З нульової секунди до 3 с має місце перехідний процес розгону САК та усталений режим. Час виходу на усталений режим для всіх трьох систем практично однаковий і складає близько 0,64 с. Особливості перехідного процесу для реальної, але неналаштованої системи обговорені вище при розгляданні другого блоку алгоритму та результатів його виконання. На 3 секунді до

систем прикладається збурення з амплітудою 0,5 від впливу завдання. Збурення діє до кінця часу моделювання. Як видно з рисунка, відпрацювання збурення виконується з несуттєвою різницею для кожної з систем.

На шостій секундi відпрацьовується східчаста зміна впливу завдання з 1 до 0,5. Характер перехідного процесу зменшення вихідної координати практично такий же як і при розгоні. Слід зазначити велику близькість перехідних процесів у ідеальній та налаштованій системі. При цьому вихідний сигнал регулятора не перевищує 1, тобто значення впливу завдання, на що зверталась увага вище.

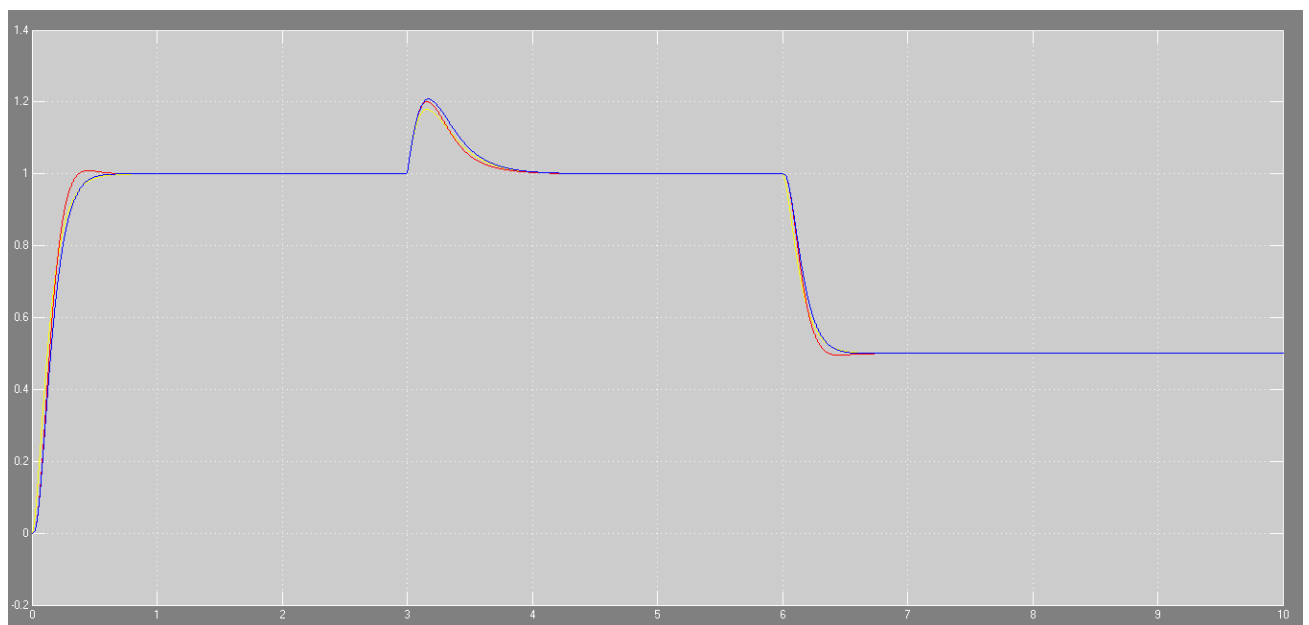


Рисунок 2.9 – Перехідні процесу відпрацювання сигналів завдання та збурення у трьох системах: ідеальній (жовта лінія), реальній (червона лінія) та налаштованій (синя лінія)

2.5 Висновки

1. Розроблено алгоритм та програму автоматизованого синтезу лінійних систем автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи.
2. Програму використано та продемонстровано для синтезу астатичної САК четвертого порядку.
3. Результати синтезу свідчать про ефективність методу, яка полягає в отриманні в синтезованій системі керування швидких перехідних процесів при їх аперіодичній та монотонній формі.
4. Коректність отриманих результатів доведено моделюванням у середовищі Simulink.

ВИСНОВКИ

1. У найбільш повній мірі та широко програмні засоби автоматизованого синтезу представлені в системі MATLAB. Програми синтезу, що виконують повністю структурно-параметричний алгоритм синтезу регуляторів, майже відсутні за рідким виключенням, можливо через складну неоднозначність завдання.
2. У доступних джерелах відсутня інформація програмної реалізації алгебраїчного методу синтезу САК за бажаною передавальною функцією замкненої системи.
3. Розроблено алгоритм та програму автоматизованого синтезу лінійних систем автоматичного керування за бажаною передавальною функцією замкнутої системи. Програму використано та продемонстровано для синтезу астатичної САК четвертого порядку.
4. Результати синтезу свідчать про ефективність програмної реалізації методу, яка полягає в отриманні в синтезованій системі керування швидких перехідних процесів при їх аперіодичній та монотонній формі.
5. Коректність отриманих результатів доведено моделюванням у середовищі Simulink.
6. Розроблено заходи охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу "Теорія автоматичного керування" (для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» всіх форм навчання)/ Укладач: В.В. Поцєпаєв. – Покровськ, ДонНТУ, 2021. – 83 с.
2. Горпинич Д.О. Автоматизація синтезу системи автоматичного керування за методом логарифмічних частотних характеристик: кваліфікаційна робота магістра / Д.О. Горпинич – Покровськ: ДонНТУ, 2020. – 68с.
3. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
4. Теорія автоматичного керування : Частина I : Курс лекцій / Уклад. М.Г. Попович, Б.І. Приймак. – К.: НТУУ "КПІ", 2010. – 182 с. – Режим доступу: <http://library.kpi.ua:8080/handle/123456789/770>
5. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування: Курс лекцій для студентів напряму 0925 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології ден. та заочн. форм навчання – (частина перша) – К.: НУХТ, 200А. – 174 с.
6. Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.Дніпро:НГУ,2017.
<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/152814/CD1005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Steven A. Frank. Control Theory. Tutorial Basic Concepts Illustrated by Software Examples. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. 2018. <https://library.oapen.org/bitstream/id/ca08ee4d-3639-43d0-81b7-f53ebdfd1e03/1002170.pdf>

8. Зайцев Г. Ф., Стеклов В. К., Бріцький О. І. Теорія автоматичного управління. — К.: Техніка, 2012. — 688 с.
9. Голюк П.Ф., Гречин Т.М. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник. Л: Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 280 с
10. Шаруда В.Г. Методи аналізу і синтезу систем автоматичного керування: Навч. посіб./ Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Фількін М.П. — Д.: Нац. гірнич. у-тет, 2008. — 543 с.
11. MathWorks, Help Center: [MathWorks - Archived MathWorks Documentation](#)
12. Ким Д. П. Алгебраические методы синтеза систем автоматического управления. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 201А. — 164 с. — ISBN 978-5-9221-1543-8.
13. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/ 7.0 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. — Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 576 с: ил.
14. Костюченко М.П. Основи охорони праці, Охорона праці в галузі. Ч.1. Загальні питання та менеджмент охорони праці: Навч.-методичний посібник. — Донецьк: Вид-во ДУІ і ШІ, 2010. — 158с.

Додаток А

ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Потенційні небезпеки і шкідливості на об'єкті дослідження

В бакалаврській роботі досліджується і розробляється метод автоматизованого синтезу лінійних систем автоматичного керування. Програмний синтез САК є кропітким да довгим процесом, що потребує великої концентрації уваги та напруження розуму. Це спричиняє втому як розуму, так і зору, а також загальне погіршення стану проектувальника через довгу нерухомість при сидінні.

А.2 Основні шкідливі виробничі фактори, що впливають на умови праці робітників відділу АСУ ТП

До основних шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, пов'язаних з роботою на персональному комп'ютері належать: напруга зорових органів та перевтомлення очей; навантаження на кисті рук та пальці; тривале знаходження в статичному стані, що викликає застійні явища в організмі; випромінювання різного виду (рентгенівське, електромагнітне, інфрачервоне, статистичні поля); механічні шуми, пов'язані з роботою кулера, дискового приводу, оргтехніки; іонізація повітря; виділення в повітря робочого приміщення різних хімічних речовин (озон, триметілфосфат, біфеніли); небезпека статичної електрики.

До психологічно шкідливих факторів можна віднести розумову напругу та нервово-емоційне перевантаження, які виникають внаслідок

підвищеної концентрації уваги. Усі ці фактори негативно впливають на здоров'я працівників відділу АСУ ТП та сприяють виникненню професійних захворювань: комп'ютерний зоровий синдром; радіохвильова хвороба; синдром висихання рогівки ока; кистьовий тунельний синдром; захворювання шкіри; захворювання кишкового тракту; серцево-судинні захворювання; комп'ютерна алергія.

А.3 Заходи щодо поліпшення умов праці робітників відділу АСУ ТП

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища на працівників відділу АСУ ТП необхідно вжити заходів щодо поліпшення їх умов праці: при облаштуванні робочих місць з ПК не допускати розміщення комп'ютеру у підвальних приміщеннях; приміщення має бути обладнане системою опалення, кондиціонування повітря, вентиляцією; для боротьби зі статичним полем підтримувати відносну вологість повітря на рівні 50-60% за допомогою кондиціонування, для підлоги використовувати матеріали з антистатичного матеріалу; дотримуватися параметрів: площа на одного працюючого – 6 м², об'єм – 20 м³; відстань від робочого місця з ПК до стіни з вікном повинна становити не менше ніж 1,5 м, від інших стін – на відстані 1 м, а відстань між столами – 1,5 м; не застосовувати для обробки приміщення полімерні матеріали, що виділяють шкідливі хімічні речовини; відстань від екрану комп'ютера до очей повинна складати 50-70 см; час праці за ПК не повинен перевищувати 20 годин на тиждень, при цьому робити перерву кожні 45 хвилин на 5 хвилин.

Для зменшення шкідливого впливу негативних факторів виробничого середовища робоче місце з ПК повинно відповідати наступним гігієнічним вимогам: екран та клавіатура повинні розташовуватись на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600...700 мм; висота робочої

поверхні робочого столу має регулюватися в межах 680...800 мм; робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

Для зменшення негативного впливу мобільного апарату необхідно: скоротити до мінімуму час розмови по телефону; обирати мобільний телефон з мінімальним значенням SAR (Specific Absorbtion Rate). SAR – одиниця виміру питомої величини поглинання випромінювання організмом людини; максимальна потужність випромінювання телефону. Максимальне значення SAR у Європі складає 2 Вт/кг;[4] підносити термінал до вуха після з'єднання з абонентом. Під час здійснення з'єднання збільшується потужність випромінювання телефону.

Згідно з приведеними вимогами можемо розробити схему необхідного розташування робочих місць, яка приведена на рис. А.1:

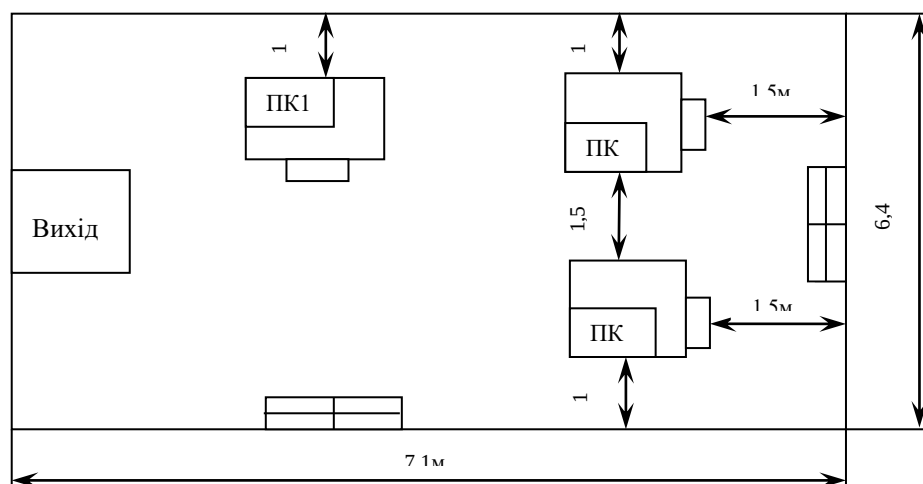


Рисунок А.1 – Облаштованість робочих місць із ПК відділу

Таким чином, дотримано всіх вимог. При цьому працюючі не звернені обличчям до вікна при роботі за комп'ютером.

А.4 Розрахунок кондиціонування та вентиляції для відділу АСУ ТП

У відділі АСУ ТП є джерела екстремальних температур, тому необхідно визначити необхідні умови їх вентилявання. Витрату повітря у відділі з додатковим тепловиділенням визначаємо по формулі:

$$L = \frac{Q_{над}}{c \cdot p (t_в - t_н)}, \quad (A.1)$$

де $Q_{над}$ - надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c - теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p - обсягова вага повітря (1,226 кг/ м³);

$t_в$ - температура витяжного повітря (26°С);

$t_н$ - температура повітря, що притікає (18°С).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла по формулі:

$$Q_{над} = Q_{уст} + Q_{пер} + Q_{осв} + Q_{ср}, \quad (A.2)$$

де $Q_{уст}$ - виділення тепла від устаткування;

$Q_{пер}$ - виділення тепла робітниками;

$Q_{осв}$ - надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{ср}$ - надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування по формулі:

$$Q_{уст} = P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (A.3)$$

де P - сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a - коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_b - коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{уст} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860 \text{ ккал/год}, \quad (A.4)$$

де x - кількість системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно; k - потужність системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно.

Розрахуємо:

$$Q_{уст} = [(3 \cdot 0,5) + (3 \cdot 0,1) + (1 \cdot 0,4) + (1 \cdot 6,3)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 490,2 \text{ ккал/год.} \quad (A.5)$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{пер} = n \times g, \quad (A.6)$$

де n - кількість працюючих;

g - кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.)

Розрахуємо:

$$Q_{пер} = 6 \times 100 = 600 \text{ ккал/год.} \quad (A.7)$$

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення по формулі:

$$Q_{осв} = E_m \cdot g_1 \cdot S, \quad (A.8)$$

де E_m – нормована освітленість для цієї зорової роботи, приймаємо рівним 400 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Розрахуємо:

$$Q_{осв} = 400 \cdot 0,05 \cdot 45,44 = 908,8 \text{ ккал/год.} \quad (A.9)$$

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна по формулі:

$$Q_{\text{ср}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{осл}}, \quad (\text{A.10})$$

де F - площа віконних прорізів ($1,55 \text{ м}^2$);

g_2 - кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{осл}}$ - коефіцієнт ослаблення, приймаємо - $0,4$.

Розрахуємо:

$$Q_{\text{ср}} = 1,55 \cdot 65 \cdot 0,4 = 40,3 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.11})$$

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{над}} = 490,2 + 600 + 908,8 + 40,3 = 2039,3 \text{ ккал/год.} \quad (\text{A.12})$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{2039,3}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (26 - 18)} = 877,31 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (\text{A.13})$$

Існуюча в наявності система вентилявання має продуктивність $600 \text{ куб. м./годину}$, але це не задовольняє необхідним нормативам. Потрібно замінити функціонуючу систему вентилявання на більш потужнішу. Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря і відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $22\text{-}24$ градуса по Цельсію, $0,1$ метра в секунду і $40\text{-}60 \%$ відповідно. У теплі періоди року

температура повітря повинна складати 23-25 градусів Цельсія, рухливість повітря 0,1-0,2 метрів секунду, вологість 40-60 %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним відділу АСУ ТП.

А.5 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання

Розміри відділу: довжина ($a=7,1$ м), ширина ($b=6,4$ м), висота ($h=3$ м). Визначимо норми освітлення для та розрахункову висоту для виділених зон. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк. Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття - $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,5$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=400$ лк.

- 1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,5 = 2,5 \text{ м.} \quad (\text{A.14})$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНіП П-4-79 повинна бути у межах 2,5 - 4,0 м, залежно від характеристики світильника. В нашому випадку по відповідає цій вимозі.

- 2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 2,5 - 0,7 = 1,8 \text{ м.} \quad (\text{A.15})$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) і висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками:

$$L = 0,7h = 0,7 \cdot 1,8 = 1,26 \text{ м.} \quad (\text{A.16})$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{ab}{L^2} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,16^2} = 33,77 \approx 35 \quad (\text{A.17})$$

Приймаємо 35 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у 3 ряди по 7 штук.

5) Світловий потік лампи світильника визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} \text{ ккал / год} \quad (\text{A.18})$$

де E - нормативна освітленість, лк;

K_3 - коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп (1,5);

S - площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розжарювання (=1,15);

N - кількість світильників;

n - кількість ламп у світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення для кожної зони:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)} = \frac{7,1 \cdot 6,4}{1,8 \cdot (7,1 + 6,4)} = 1,8 \quad (\text{A.19})$$

7) З таблиці 3.25 [2] знаходимо коефіцієнт використання ($\eta = 0,52$) для світильників УПМ-15 (при $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$).

8) Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 45,44 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{35 \cdot 0,52} = 1722,73 \text{ лм} \quad (\text{A.20})$$

9) З таблиці 3.27 [2] обираємо лампу БК (біспіральна криптонова) потужністю 100 Вт, світловий потік якої становить 1450 лм. Хоча це значення менше розрахованого на 14%, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Delta\Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$\Sigma P_{\text{св}} = P \cdot N = 100 \cdot 35 = 3,5 \text{ кВт.} \quad (\text{A.21})$$

А.6 Пожежна безпека

У приміщенні відділу АСУ ТП основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень. Вона є обов'язковою для виконання всіма співробітниками. В інструкції про засоби пожежної безпеки для службових приміщень забороняється: улаштовувати тимчасові електромережі, застосовувати саморобні плавкі вставки в запобіжниках, прокладати

електричні проводи безпосередньо по пальній основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами), використовувати саморобні подовжувачі, що не відповідають вимогам Правил пристрою електроустановок; пристосовувати вимикачі, штепсельні розетки для підвішування одягу й інших предметів, обгортати електролампи і світильники, клеювати ділянки електромережі пальною тканиною, папером; використовувати побутові електрокип'ятильники, чайники тощо без непалених підставок, залишати без нагляду включеними в електромережу кондиціонери, комп'ютери, рахункові і друкарські машинки і т.п.; захаращувати підступи до засобів пожежогасіння, використовувати пожежні крани, рукави і пожежний інвентар не за призначенням, зберігати документи, різні матеріали, предмети й інвентар у шафах (нішах) інженерних комунікацій; курити (крім спеціально відведених для цього адміністрацією місць, позначених написом «Місце для паління» і забезпечених урною чи попільницею з непаленого матеріалу), проводити зварювальні й інші вогневі роботи без оформлення відповідного дозволу, застосовувати легкозаймисті рідини.

А.7 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захаращувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю;

У разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі. При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. Користуватися ліфтом категорично забороняється. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, но відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та іншим.

Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі - смертельний).