

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
Доктор технічних наук  
професор

Синєглазов В. М.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ**

**“МАГІСТР”**

**Тема:** СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ  
ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Виконавець:**

Жмурчик Т.П.

**Керівник:** професор

Аблесімов О.К.

**Нормоконтролер:** доцент

Тупіцин М.Ф.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет** аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

**Кафедра** авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

**Освітньо-кваліфікаційний рівень** магістр

**Спеціальність** 151 «Автоматизація та комп'ютерно-нтегровані технології»

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д.т.н., проф.

Синеглазов В.М.

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи студентці**

Жмурчик Тетяні Петрівні

**1. Тема роботи:** “ Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів ”

**2. Термін виконання проекту (роботи):** з « »\_\_\_2021р по « »\_\_\_2022р.

**3. Вихідні данні до проекту (роботи):**, системи стабілізації і керування технологічними процесами з чистим запізненням, курсом корабля; перерегулювання по не перевищує 10%; час регулювання – відповідно до технічних вимог; технічні параметри системи - відповідно до аналогів промислових зразків.

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**

1.Аналіз робочих процедур автоматизації проектування. 2.Визначення базових компонент стабілізатора. 3.Принципи синтезу цифрових регуляторів. 4.Методи оцінки впливу регуляторів на якість систем стабілізації. 5.Алгоритм проектування регуляторів. 6.Проектування регуляторів оптимального керування технологічними процесами. 7.Моделювання системи стабілізації інерційного динамічного об'єкта керування з цифровим ПД-регулятором. 8.Програмне забезпечення автоматизованого проектування цифрових регуляторів.

**5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:** 1.Структура системи автоматизованого проектування. 2.Визначення основних процедур проектування. 3.Визначення базових компонент стабілізатора. 4.Принципи синтезу цифрових регуляторів. 5.Методи налаштування параметрів регуляторів. 6.Проектування регуляторів технологічних процесів. 7.Структурна схема дискретної системи керування курсом корабля. 8.Регулятор з системою корекції. 9. Програмне забезпечення синтезу оптимального регулятора.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Підбір літератури	01.10 -10.10	
2	Технічне завдання. Вступ	11.10-18.10	
3	Аналіз робочих процедур автоматизованого проектування.	21.10-28.10	
4	Формування алгоритму проектування цифрового регулятора для систем стабілізації інерційних об'єктів	29.10-12.11	
5	Проектування регуляторів інерційних динамічних об'єктів та технологічних процесів	13.11-30.11	
6	Програмне забезпечення автоматизованого проектування цифрових регуляторів	01.12-10.12	
7	Охорона навколишнього природного середовища	11.12-18.12	
8	Охорона праці	19.12-21.12	
9	Висновки	22.12-23.12	

## 7. Консультація з окремих розділів:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	доцент, Гай А.Є.		
Охорона праці	ст. викл., Козлітін О.О.		

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник: професор \_\_\_\_\_ Аблесімов О.К.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Жмурчик Т.П.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Найменування та галузь застосування

В даний час існує цілий клас систем стабілізації інерційними динамічними об'єктами та технологічними процесами. Детальне вивчення таких систем дозволяє зробити висновок, що чимало з них виконуються як дискретні (цифрові) системи.

Задача керування об'єктом або процесом в цифрових системах, як і в лінійних, покладається на регулятор. Так як закон керування в дискретних системах реалізується, як правило, програмно, це дозволяє швидко перебудовувати параметри регуляторів, а при необхідності і їх структуру.

Від того наскільки коректно вибирається структура, розраховуються і налаштовуються параметри регулятора багато в чому залежить ефективність системи управління і стабілізації.

### 2. Мета та призначення розробки

Метою роботи є розробка системи автоматизованого проектування цифрових регуляторів для керування технологічними процесами та інерційними об'єктами.

### 3. Технічні вимоги

Максимальна відносна помилка системи стабілізації: 5%

Перерегулювання: <10%

Час перехідного процесу до  $t_n=200$ с.

Похибки обчислень не більше 0,1%.

### 4. Стадії та етапи розробки

Визначення особливостей дискретних (цифрових) систем.

Визначення завдань та основних процедур автоматизованого

проектування.

Розробка структури САПР цифрових регуляторів.

Розробка алгоритмів проектування регуляторів.

Розробка інженерних методів розрахунку регуляторів технологічних процесів та алгоритмів їх налаштування.

Математичне моделювання дискретної системи керування інерційним динамічним об'єктом з цифровим регулятором.

Теоретичні та експериментальні дослідження впливу параметрів ПД-регулятора на якість системи керування.

Синтез оптимального цифрового регулятора.

Розробка програмного забезпечення автоматизованого проектування цифрових регуляторів.

#### 5. Порядок контролю та приймання

Контроль здійснюється керівником дипломного проектування відповідно до завдання та календарного плану.

Приймання здійснюється на підставі захисту дипломної роботи ДЕК факультету.

Термін здачі дипломної роботи: “24” грудня 2021 р.



## АНОТАЦІЯ

на кваліфікаційну роботу «Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів»

СИСТЕМА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, ІНЕРЦІЙНИЙ ОБ'ЄКТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОРАБЛЬ, ДИСКРЕТНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, КУРС, РЕГУЛЯТОР, КОРЕКЦІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Пояснювальна записка: кількість сторінок – , кількість рисунків – , кількість використаних джерел – .

У роботі створено САПР цифрових регуляторів систем керування інерційними динамічними об'єктами і технологічними процесами.

Автором розроблено методи та визначено алгоритми розрахунку регуляторів оптимального керування технологічними процесами, розроблено методику синтезу цифрових (дискретних) регуляторів. Це дозволо спроектувати оптимальний регулятор для інерційної системи.

Об'єкт дослідження – система автоматизованого проектування.

Мета роботи – розробка системи автоматизованого проектування цифрових регуляторів для керування технологічними процесами та інерційними об'єктами.

Методи дослідження – математичне моделювання.

Виконані дослідження дозволили запропонувати в якості оптимального для дискретної інерційної системи з точки зору якості керування та забезпечення стійкості цифровий ПД-регулятор з системою корекції. Матеріали роботи рекомендується використати при дослідження систем автоматичного керування інерційними об'єктами та інерційними об'єктами з чистим запізнюванням.

## ЗМІСТ

Вступ.....	
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ПРОЦЕДУР АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ.....</b>	
1.1 Напрями та переваги автоматизації .....	
1.2 Завдання систем автоматизованого проектування.....	
1.3 Структура системи автоматизованого проектування.....	
1.4 Визначення основних процедур проектування.....	
1.5 Математичне та програмне забезпечення.....	
1.6 Мета та завдання роботи.....	
<b>РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ІНЕРЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ.....</b>	
2.1 Визначення базових компонент стабілізатора.....	
2.2 Принципи синтезу цифрових регуляторів.....	
2.3 Методи оцінки впливу регуляторів на якість систем стабілізації..	
2.4 Алгоритм проектування регуляторів.....	
<b>РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ІНЕРЦІЙНИХ ДІНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	
3.1 Регулятори оптимального керування технологічними процесами..	
3.1.1 Проектування методом Циглера – Никольса.....	
3.1.2 Проектування методом CHR .....	
3.2 Експериментальні дослідження в процесі проектування.....	
3.3 Моделювання системи стабілізації інерційного динамічного об'єкта керування з цифровим ПД-регулятором.....	
3.4 Параметричний синтез проектованого регулятора.....	
3.5 Обґрунтування оптимального цифрового регулятора інерційного динамічного об'єкта.....	

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ.....

4.1 Опис вхідних та вихідних даних програми.....

4.2 Лістинг програми.....

4.3 Опис інтерфейсу користувача.....

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО  
СЕРЕДОВИЩА.....

5.1 Вплив об'єкту дослідження на навколишнє середовище.....

5.2 Розрахунок впливу об'єкту дослідження на навколишнє  
середовище.....

5.3 Шляхи покращення ситуації, рекомендації та заходи  
по зменшенню впливу.....

Висновки.....

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....

6.1 Аналіз умов праці з електронно-обчислювальними машинами.....

6.2 Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників.....

6.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників,  
що діють на робочому місці на суб'єкта.....

6.4 Розробка заходів з охорони праці...э.....

6.5 Електробезпека та пожежна безпека при роботі  
з електронними обчислювальними машинами.....

6.6 Атестація робочих місць.....

Висновки.....

ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....





## Перелік термінів та скорочень

ОК – об'єкт керування

ССК – системи стабілізації та керування

ДС – дискретна система

Р – регулятор

ДШ – датчик швидкісного відхилення об'єкта керування.

ДК – датчик відхилення по куту об'єкта керування.

К – корекція

ПФ – передатна функція

ММ – математична модель

## ВСТУП

Системи стабілізації та керування займають важливе місце в складі автоматизованих комплексів управління інерційними об'єктами. Їх метою є забезпечення сталого значення керованої величини або її зміни за заданим законом керування. Точність системи стабілізації прийнято оцінювати величиною помилки регулювання вихідної координати. В режимі слідкування точність систем оцінюється помилкою слідкування.

В даний час існує цілий клас систем стабілізації інерційними динамічними об'єктами та технологічними процесами. Детальне вивчення таких систем дозволяє зробити висновок, що чимало з них виконуються як дискретні (цифрові) системи.

Розвиток дискретних систем обумовлено постійно зростаючими конструктивними, експлуатаційними та метрологічними вимогами до керування. Вони дозволяють забезпечити високу точність керування, в них відсутній дрейф нуля, вони мають більш високу перешкодозахищеність і стійкість до збурень, мають менші габарити і вагу.

Особливістю дискретних (цифрових) систем керування є можливість складної обробки інформації і виконання таких операцій, які не можуть бути здійсненні з необхідною точністю за допомогою аналогових пристроїв.

Задача керування об'єктом або процесом в цифрових системах, як і в лінійних, покладається на регулятор. Так як закон керування в дискретних системах реалізується, як правило, програмно, це дозволяє швидко перебудувати параметри регуляторів, а при необхідності і їх структуру.

Від того наскільки коректно вибирається структура, розраховуються і налаштовуються параметри регулятора багато в чому залежить ефективність системи управління і стабілізації.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ РОБОЧИХ ПРОЦЕДУР АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 1.1 Напрями та переваги автоматизації

Під автоматизацією прийнято розуміти один із напрямів науково-технічного прогресу, що використовує саморегулюючі технічні засоби і математичні методи з метою звільнення людини від участі в процесах отримання, перетворення, передачі і використання енергії, матеріалів, виробів або інформації, або істотного зменшення ступеня цієї участі або трудомісткості виконуваних операцій.

Автоматизуються, як правило, виробничі процеси; проектування; організація, планування і управління; наукові дослідження; навчання; бізнес-процеси і інші сфери людської діяльності.

Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність праці, поліпшити якість продукції, оптимізувати процеси управління, відсторонити людину від виробництв, небезпечних для здоров'я.

Автоматизація, за винятком найпростіших випадків, вимагає комплексного, системного підходу до вирішення завдання. Застосовувані методи обчислень іноді копіюють нервові і розумові функції людини.

Переваги автоматизації надано на рис. 1.1.

Основна тенденція розвитку систем автоматизації йде в напрямку створення автоматичних систем, які здатні виконувати задані функції або процедури без участі людини.

Роль людини в таких системах полягає в підготовці вихідних даних, вибору алгоритму (методу рішення) і аналізі отриманих результатів.

<i>КАФЕДРА АКІК</i>				<i>НАУ 22 88 05 000 ПЗ</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						
					<i>151</i>	<i>603</i>	

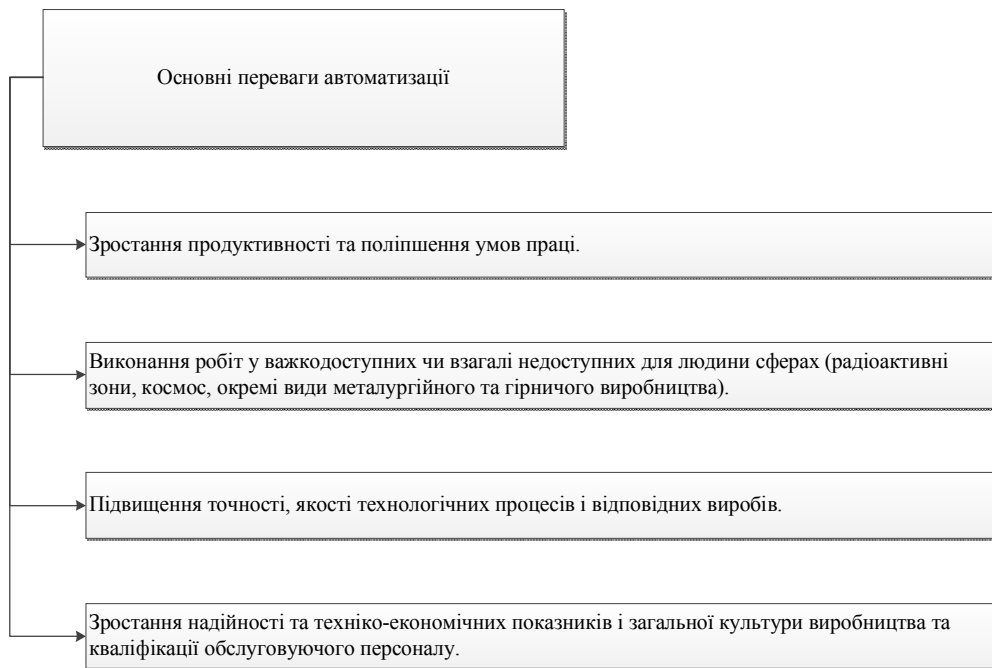


Рис. 1.1. Переваги автоматизації

В подібних системах передбачається також поступово нарощуваний захист від нестандартних подій (аварій) або способи їх обходу (з точки зору науки катастроф).

Разом з тим, присутність в розв'язуваних задачах евристичних або складно програмованих процедур пояснює широке поширення автоматизованих, напівавтоматичних систем. У них людина бере участь в процесі виконання завдання, наприклад, вводячи проміжні дані. У таких випадках принципово економлять на захисті від рідкісних і складних нестандартних подій, відводячи її роль людині.

На ступінь автоматизації впливають також ймовірність і різноманітність нестандартних подій, тривалість часу, відведеного на рішення задачі, її вид тощо.

Головними видами систем автоматизації на сьогоднішній день прийнято вважати

- автоматизовану систему планування (АСП);
- автоматизовану систему наукових досліджень (АСНД);
- систему автоматизованого проектування (САПР);

- автоматизований експериментальний комплекс (АЕК);
- гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ) та автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСКТП);
- автоматизовану систему керування експлуатацією (АСК) і систему автоматичного керування (САК).

## **1.2 Завдання систем автоматизованого проектування**

У межах життєвого циклу промислових виробів САПР розв'язує задачі автоматизації робіт на стадіях проектування і підготовки виробництва.

Основна мета створення САПР - підвищення ефективності праці інженерів, включає:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення строків проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості та техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

Досягнення цих цілей забезпечується шляхом:

- інформаційної підтримки і автоматизації процесу прийняття рішень;
- автоматизації оформлення документації;
- використання технологій паралельного проектування;
- уніфікації проектних рішень і процесів проектування;
- повторного використання проектних рішень, даних і наробітків;
- стратегічного проектування;
- заміни натурних випробувань і макетування математичним моделюванням;
- підвищення якості управління проектуванням;
- застосування методів варіантного проектування і оптимізації.

Відповідно до сучасних уявлень розробка й експлуатація САПР дозволить підвищити якість проектування завдяки:

- розширенню кількості розглянутих проектних рішень;
- більш детальному і всебічному аналізу кожного проектного рішення;
- можливості вирішувати принципово нові проектні задачі з комплексним моделюванням на ЕОМ складних процесів, що супроводжують функціонування проектованого об'єкта;
- використанню нових методів і технічних засобів, що розширюють діапазон операцій у творчому процесі синтезу нової конструкції.

### 1.3 Структура системи автоматизованого проектування

У відповідності зі сформованою традицією структура САПР являє собою сукупність підсистем, що вирішують завдання для кожного етапу створення технічної системи. При цьому кожна підсистема повинна включати технічні, математичні й інформаційні засоби, об'єднані загальною цільовою функцією. Функціональна схема САПР наведена на рис. 1.2.

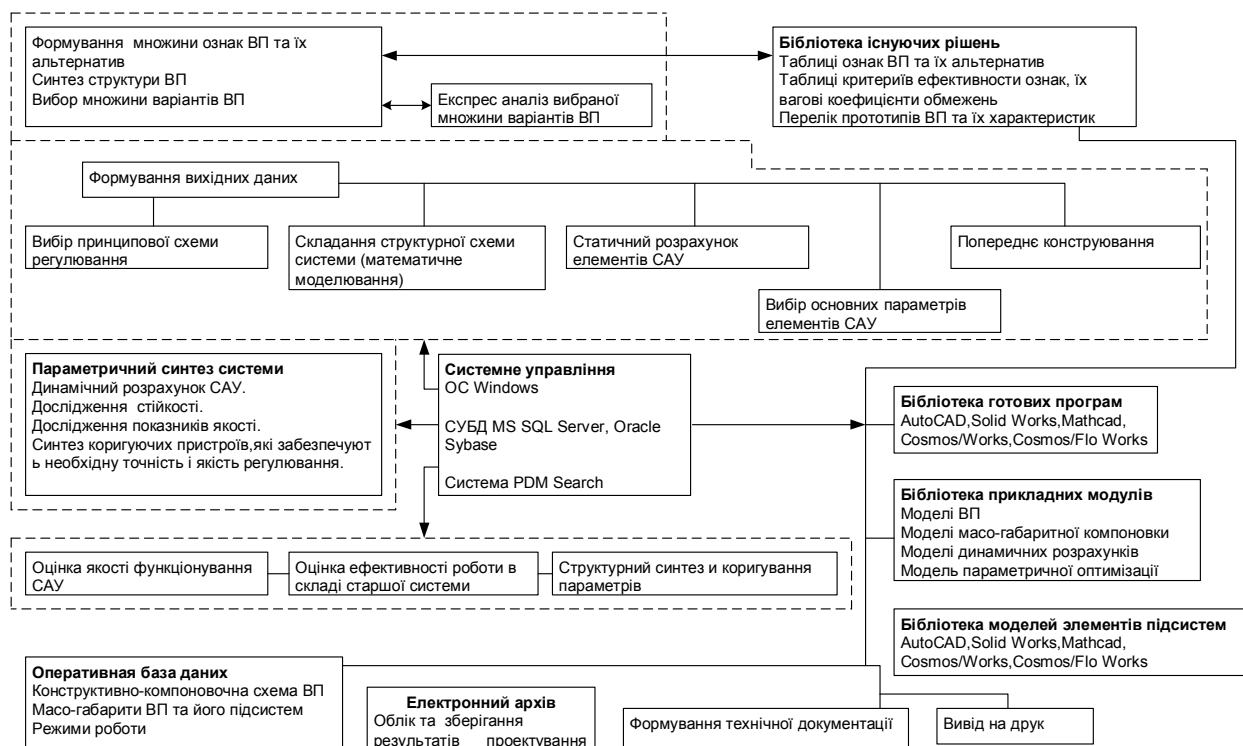


Рис. 1.2. Функціональна схема САПР

На стадіях зовнішнього і внутрішнього проектування створюється остаточний опис або робочий проект виробу. Результатами окремих стадій і етапів цього періоду є проміжні форми опису виробу, більш докладні, ніж вихідний опис, але ще недостатні для виготовлення та експлуатації виробу.

До числа таких проміжних форм опису виробу можуть бути віднесені математичні моделі різного рівня, технічні пропозиції, ескізи і технічні проекти.

Можливі й інші проміжні форми описів виробу в залежності від його складності і потреб проектувальників.

Зміна опису від вихідного стану до остаточного через проміжні форми відображає розвиток уявлення проектувальника про проєктованому виробу, яке безперервно ускладнюється.

Критерієм закінченості процесу проектування є достатність опису для виготовлення виробу.

При проектуванні об'єктів повний опис об'єкта в рамках однієї програми, як правило, неможливе через велику багатовимірність завдання.

Опис проєктованого об'єкта має відповідати можливостям його сприйняття та оперування людиною, чого для технічних об'єктів домогтися, як правило, не вдається. Тому вдаються до розчленовування уявлень про проєктованих об'єктах на ієрархічні рівні і аспекти, що дозволяє розподіляти роботи по проектування складних об'єктів між підрозділами проектної організації, ніж підвищується ефективність і виробничість колективу проектувальників в цілому.

Завдяки цьому остаточний опис дає достатнє уявлення про всі істотні властивості виробу, його систем, агрегатів, вузлів і деталей, а також про методи їх виготовлення і збірки і необхідному для цього обладнанні.

Блочно-ієрархічний підхід. Поділ описів за ступенем деталізації відображуваних властивостей і характеристик об'єкта лежить в основі блочно-

ієрархічного підходу до проектування і призводить до появи ієрархічних рівнів (рівнів абстрагування) в уявленнях про об'єкт.

Таким чином, принцип ієрархічності означає структурування уявлень про об'єкти проектування за ступенем детальності опису, а принцип декомпозиції (блочності) - розбиття уявлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями роздільного (поблочного) проектування об'єктів на кожному з рівнів.

Ієрархічний підхід передбачає розміщення інформації, що міститься в описі в символному і графічному вигляді, на декількох рівнях, кожен з яких відрізняється ступенем подробности опису властивостей виробу.

Кількість ієрархічних рівнів може бути будь-яким, так як залежить від складності проектованого виробу і типу завдань, що вирішуються проектувальником за допомогою структурування інформації.

Декомпозиційний (блоковий) підхід. При переході з більш високого ієрархічного рівня на більш низький ступінь подробности опису об'єкта зростає. Для збереження прийнятної складності описів (принятною розмірності вирішуваних завдань) при такому переході доводиться виробляти декомпозицію описів на блоки з подальшим поблочну розглядом і перетворенням описів. В результаті з'являється можливість звести рішення малого числа надмірно складних завдань до вирішення великого числа завдань, але прийнятною складності.

Структурування та розбиття на блоки - прийоми, без застосування яких проектування технічного об'єкта неможливо, тому всі види описів складного об'єкта, що виходять в ході проектування, відрізняються ієрархічністю і декомпозиційністю.

#### **1.4 Визначення основних процедур проектування**

Проектування об'єднує такі процедури, як синтез структури, вибір параметрів елементів, аналіз і прийняття рішення, які тому вважаються проектними.

Проектна процедура - це частина етапу проектування, вона обов'язково



завершується отриманням проектного рішення.

Одні і ті ж проектні процедури, які використовуються незалежно від призначення проектованого виробу, а також стадії і етапи його проектування, називаються типовими (рис. 1.3).



Рис.1.3. Класифікація типових проектних процедур

Під синтезом розуміються проектні процедури, спрямовані на отримання нових описів проектованого об'єкта відповідно до заданими показниками його функціонування.

Аналіз - це проектні процедури, що мають на меті отримання інформації про властивості об'єкта, що проектується по заданому його опису.

Завдання синтезу пов'язані зі створенням проектних документів і самого проекту, а завдання аналізу пов'язані з оцінкою проектних документів.

Процедури синтезу діляться на процедури структурного і параметричного синтезу.

Пошук раціонального технічного рішення при обраному фізичному принципі дії здійснюється методами структурного синтезу. Визначення оптимальних значень параметрів елементів технічної системи відомої структури представляє собою завдання параметричного синтезу, або параметричної оптимізації.

Метою структурного синтезу є визначення структури об'єкта - переліку типів елементів, що складають об'єкт, і способу зв'язку елементів між собою в складі об'єкта.

Параметричний синтез полягає у визначенні числових значень параметрів елементів при заданих структурі і умовах працездатності, що впливають на вихідні параметри об'єкта, тобто при параметричному синтезі потрібно знайти точку або область в просторі внутрішніх параметрів, в яких виконуються ті чи інші умови (зазвичай умови працездатності).

Процедури аналізу діляться на процедури одно- і багатоваріантного аналізу.

При одноваріантному аналізі задані значення внутрішніх і зовнішніх параметрів, потрібно визначити значення вихідних параметрів об'єкта. Зручно використовувати геометричну інтерпретацію цього завдання, пов'язану з поняттям простору внутрішніх параметрів; це « $n$ -мірний простір, в якому для кожного з  $n$  внутрішніх параметрів  $x_i$  - виділена координатна вісь. При одноваріантному аналізі задається також деяка точка в просторі внутрішніх параметрів і потрібно в цій точці визначити значення вихідних параметрів. Подібне завдання зазвичай зводиться до однократному рішенням рівнянь, що складають математичну модель, що і обумовлює назву даного виду аналізу.

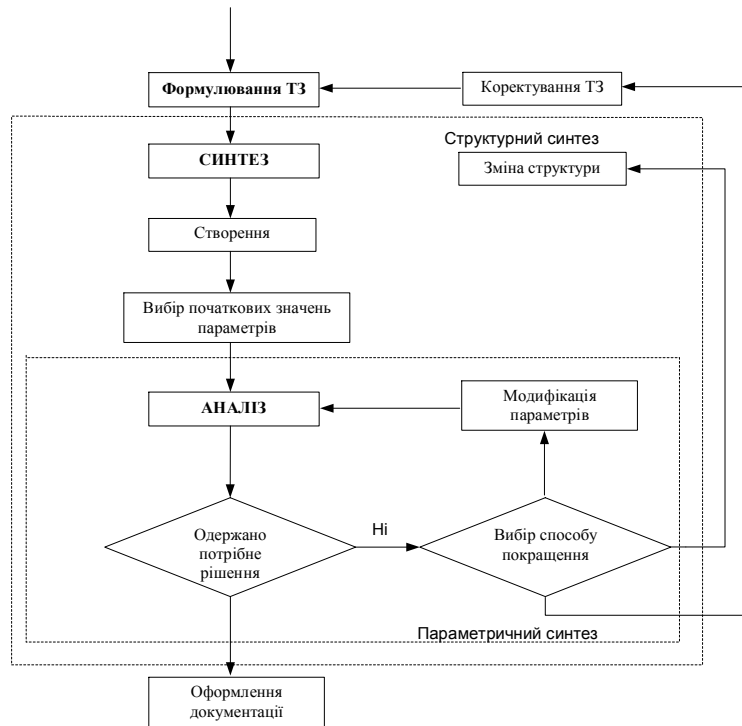


Рис. 1.4. Типова послідовність проектних процедур

Багатоваріантний аналіз полягає в дослідженні властивостей об'єкта в деякій області простору внутрішніх параметрів. Такий аналіз вимагає багаторазового рішення систем рівнянь (багаторазового виконання одноваріантного аналізу).

При проектуванні типові проектні процедури зазвичай виконуються в традиційній послідовності, званої типовою послідовністю проектних процедур (рис.1.4). Така послідовність не є строго обов'язковою в усіх випадках, але використання її в якості відправної значно полегшує розробку нового чи внесення змін до вже існуючого процесу проектування.

Процедури, включені в блок-схему алгоритму на рис. 1.4, разом утворюють процедуру синтезу і передбачають перетворення інформації на одному з ієрархічних рівнів опису виробу. В їх послідовності процедура «Складання ТЗ» є такою, що укладає і передбачає розробку технічного завдання для проектних процедур наступного, розташованого нижче ієрархічного рівня.

## 1.5 Математичне та програмне забезпечення

Математичне забезпечення - це сукупність математичних моделей, методів і алгоритмів вирішення завдань автоматизованого проектування.

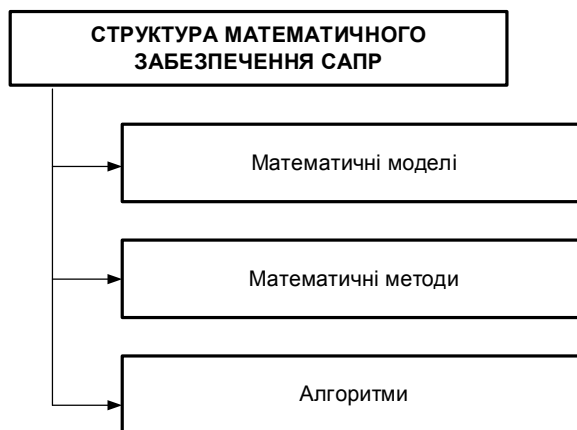


Рис. 1.5. Структура математичного забезпечення

Математична модель - група математичних об'єктів і відносин між ними, що відображає деякі властивості модельованого виробу або процесу.

Дане визначення має на увазі, що математична модель не повинна бути повністю тотожна оригіналу, так як її призначення - зробити можливим дослідження динаміки явища і процесу за допомогою готівкових коштів за рахунок спрощення його уявлення.

Можна стверджувати, що чим вище ступінь тотожності моделі оригіналу, тим складнішою вона буде для складання та дослідження. Тому при проектуванні вдаються, як правило, до математичних моделей, що відображає лише в деякій мірі і лише деякі властивості оригіналу. Проте у міру деталізації і розширення опису оригіналу рівень математичних моделей, викорисвуються для його дослідження, об'єктивно повинен підвищуватися. Таким чином, в ході проектування процесів і технічних систем можуть використовуватися математичні моделі різних рівнів складності.

Вагомими при математичному моделюванні приймаються як правило такі компоненти:

- рівняння руху, що враховують очікувані умови експлуатації об'єкта;
- умови однозначності, тобто співвідношення, що враховують вплив фізичних констант (наприклад, прискорення вільного падіння, властивості матеріалів), розмірів виробу, початкових і граничних умов;
- рівняння, що описують фізичні процеси взаємодії об'єкта з середовищем;
- рівняння напруженого стану елементів виробу;
- рівняння, що описують зв'язки критерію економічної ефективності з фізичними властивостями.

Чисельним виразом властивостей математичної моделі є її параметри, значення яких не можуть виходити за межі, що встановлюються умовами працездатності.

На математичному забезпеченні як на фундаменті будуються основні компоненти САПР – пакети прикладних програм (ППП) (рис. 1.6).

Представляючи весь обсяг робіт зі створення ППП у виді піраміди, на нижньому її рівні розміщують математичні моделі, методи. На наступному – алгоритми, далі – обчислювальні алгоритми, на самій останній ступені – програми. Складання програм проявляє собою запис прийнятою мовою програмування обчислювального алгоритму. Досить досвідчений програміст сполучає два верхніх ступені програми, розробляючи зручним для нього методом обчислювальний алгоритм, а потім записуючи його алгоритмічною мовою програмування. Тому звичайно 70% трудомісткості створення ППП – програмного продукту – займає математичне забезпечення і 30% – складання самих програм.

До складу операційної системи САПР входять, як правило, керуюча програма, програма лінгвістичної обробки і обслуговуюча програма.

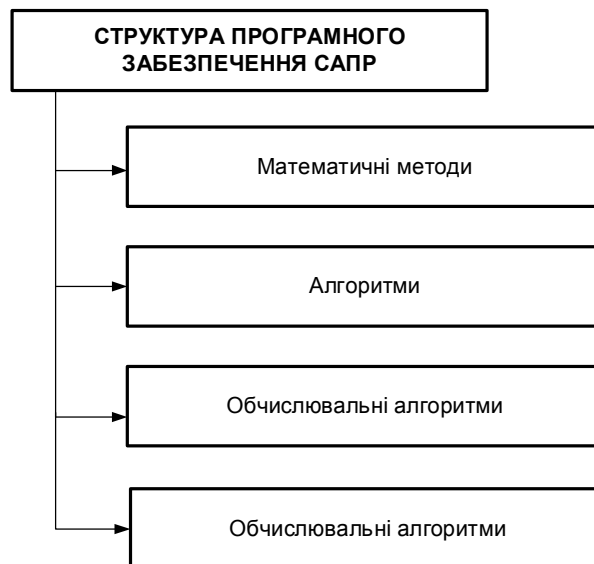


Рис. 1.6. Структура програмного забезпечення

Керуюча - здійснює контроль над усіма обробними програмами. Програма лінгвістичної обробки полегшує введення завдань в ЕОМ за рахунок трансляції вихідної прикладної програми в форму, прийнятну для ЕОМ. Обслуговуюча програма забезпечує стандартні процедури обслуговування, такі, як компіляція системи, сортування, об'єднання елементів набору даних, редагування міжпрограмних зв'язків, операції з файлами.

### **1.6 Мета та завдання роботи**

В даний час існує цілий клас систем стабілізації і керування інерційними динамічними об'єктами та технологічними процесами. Детальне вивчення таких систем дозволяє зробити висновок, що чимало з них виконуються як дискретні (цифрові) системи.

Розвиток дискретних систем обумовлено постійно зростаючими конструктивними, експлуатаційними та метрологічними вимогами до керування. Вони дозволяють забезпечити високу точність керування, в них відсутній дрейф нуля, вони мають більш високу перешкодозахищеність і стійкість до збурень, мають менші габарити і вагу.

Особливістю дискретних (цифрових) систем керування є можливість складної обробки інформації і виконання таких операцій, які не можуть бути здійсненні з необхідною точністю за допомогою аналогових пристроїв.

Задача керування об'єктом або процесом в цифрових системах, як і в лінійних, покладається на регулятор. Так як закон керування в дискретних системах реалізується, як правило, програмно, це дозволяє швидко перебудовувати параметри регуляторів, а при необхідності і їх структуру.

Від того наскільки коректно вибирається структура, розраховуються і налаштовуються параметри регулятора багато в чому залежить ефективність системи управління і стабілізації.

У зв'язку з цим метою роботи є

Розробка системи автоматизованого проектування цифрових регуляторів для керування технологічними процесами та інерційними об'єктами.

При цьому були поставлені завдання:

- визначити основні особливості дискретних (цифрових) систем;
- визначити завдання та основні процедури автоматизованого проектування;
- запропонувати структуру САПР цифрових регуляторів;
- обґрунтувати принципи синтезу цифрових регуляторів;
- сформулювати алгоритм проектування регуляторів;
- розробити інженерні методи проектування регуляторів технологічних процесів та алгоритми їх налаштування;
- провести експериментальну перевірку дієздатності та достовірності запропонованих рішень;
- розробити математичну модель дискретної системи керування інерційним динамічним об'єктом з цифровим регулятором;
- провести теоретичні та експериментальні дослідження впливу параметрів ПД-регулятора на якість системи керування;
- синтезувати оптимальний цифровий регулятор;
- розробити програмне забезпечення автоматизованого проектування цифрових регуляторів.

## РОЗДІЛ 2

### ФОРМУВАННЯ АЛГОРИТМУ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ІНЕРЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ

#### 2.1 Визначення базових компонент стабілізатора

Системи стабілізації належать до систем автоматичного керування (САК), що підтримують постійними або змінюють за певним законом одну або кілька фізичних величин, що характеризують робочий режим об'єкта керування.

Залежно від призначення і типу об'єкта, що автоматизується, керованими величинами можуть бути: швидкість, кутове або лінійне переміщення, напруга, струм, тиск, температура тощо.

Зміни керованих величин зумовлені природною властивістю об'єкта керування реагувати на вплив зовнішніх збурень, якими можуть бути навантаження, частота обертання, напруга джерел живлення, температура навколишнього середовища тощо. Наприклад, зміна атмосферних умов змінює траєкторію польоту ракети; від частоти обертання якоря залежить напруга генератора; частота обертання валу двигуна залежить від моменту навантаження на ньому.

Дія регулятора змінює режим роботи об'єкта керування так, що вплив зовнішніх збурень на керовану величину автоматично компенсується. Наприклад, ракета з регулятором курсу летить не по природній, а по заданій траєкторії; напруга генератора з регулятором напруги не змінюється при зміні частоти обертання якоря; частота обертання валу виконавчого двигуна при наявності регулятора швидкості залишається постійною при змінах навантаження.

<i>КАФЕДРА АКІК</i>				<i>НАУ 22 88 05 000 ПЗ</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						
					<i>151</i>	<i>603</i>	



Системи автоматичного керування залежно від принципу їх дії можна розділити на три класи:

- системи, в яких управління здійснюється за відхиленням керованої величини від її заданого значення;
- системи, у яких керування здійснюється за величиною діючого на об'єкт керування збурення;
- системи, в яких управління за відхиленням керованої величини поєднується з керуванням за основними збуреннями.

У більшості сучасних систем керування здійснюється за відхиленням керованої величини від заданого настроюванням її значення або від заданого закону її зміни.

Функціональну схему САК за відхиленням показано на рис. 2.1. До складу регулятора входять датчик розузгодження (ДР), підсилювач і виконавчий орган.

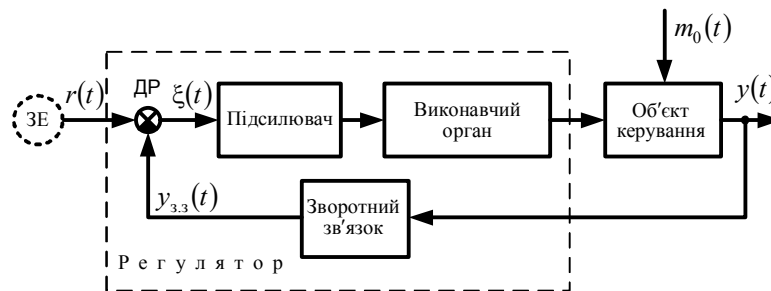


Рис. 2.1. Функціональна схема САК за відхиленням

Спеціальний задавальний елемент (ЗЕ) формує на вході системи сигнал керування  $r(t)$ . Під дією посиленого й перетвореного сигналу керування виконавчий орган забезпечує досягнення об'єктом керування необхідного значення керованої величини  $y(t)$  або формування необхідного закону її зміни.

По каналу зворотного зв'язку, реалізованому за допомогою спеціальних датчиків, інформація про дійсне значення керованої величини у вигляді сигналу зворотного зв'язку  $y_{з.з.}(t) \equiv y(t)$  надходить на датчик розузгодження (ДР) зі знаком зворотним знаку сигналу керування. Таким чином, вхідним

сигналом підсилювача служить різницевий сигнал  $\xi(t) = r(t) - y_{3.3}(t)$ . У теорії автоматичного керування сигнал  $\xi(t)$  прийнято називати сигналом розузгодження.

При досягненні об'єктом керування необхідного значення керованої величини  $y(t)$  сигнал розузгодження стає рівним нулю й керування припиняється.

Якщо під дією зовнішніх збурень  $m_0(t)$  об'єкт керування змінить необхідне значення керованої величини, то зміниться й рівень сигналу зворотного зв'язку  $y_{3.3}(t) \equiv y(t)$ , а, отже, на виході ДР з'явиться сигнал розузгодження  $\xi(t) = r(t) - y_{3.3}(t)$  пропорційний відхиленню керованої величини від необхідного значення. Цей сигнал підсилюється попереднім підсилювачем і подається на виконавчий орган регулятора – керована величина повертається до необхідного значення. Відзначимо, що регулятор діє на об'єкт керування так, щоб відновити задане значення керованої величини, тобто зменшити виникаючі відхилення.

Таким чином, система з керуванням за відхиленням завжди має замкнутий контур керування, що складається з прямого ланцюга, по якому передається керуючий вплив на об'єкт керування, і ланцюга зворотного зв'язку по керованій величині.

У ряді випадків потужність сигналу на виході датчика розузгодження виявляється достатньою для безпосереднього керування виконавчим органом регулятора. Системи, у яких сигнал датчика розузгодження безпосередньо впливає на виконавчий орган, називаються системами автоматичного керування прямої дії.

У більшості систем потужність сигналу на виході датчика розузгодження мала і наявність підсилювачів є необхідною. Крім показаних на рис. 2.1 елементів, до складу регулятора можуть входити перетворювачі сигналу керування, додаткові зворотні зв'язки й допоміжні коригувальні пристрої, що забезпечують задану точність і необхідну швидкодію системи.

Слід підкреслити, що в системі з керуванням за відхиленням відбувається одночасна компенсація впливу всіх збурень, що діють як на об'єкт керування, так і на елементи регулятора і викликають зміну заданого значення керованої величини.

Одночасна й автоматична компенсація впливу на керовану величину всіх діючих на систему збурень – найважливіше достоїнство принципу керування за відхиленням.

У системах автоматичного керування за збуренням регулювання заданого режиму роботи об'єкта керування здійснюється за величиною діючого на нього зовнішнього збурення. Функціональну схему системи автоматичного керування за збуренням показано на рис. 2.2.

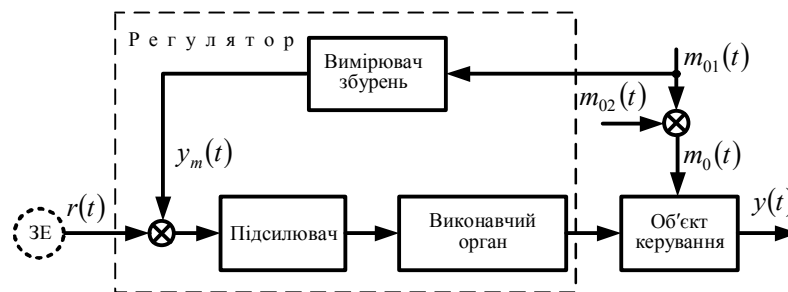


Рис. 2.2. Функціональна схема САК за збуренням

У складі регулятора є вимірювальний елемент, що визначає величину діючого на об'єкт керування зовнішнього збурення, яке змінює необхідне значення керованої величини. У розглянутій схемі це збурення  $m_{01}(t)$ . Результати вимірювання перетворюються на керуючий сигнал  $y_m(t)$ . Після попереднього підсилення й необхідних перетворень керуючий сигнал подається на виконавчий орган регулятора, який впливає на об'єкт керування й автоматично відновлює задане значення керованої величини або заданий режим роботи.

Таким чином, система автоматичного керування за збуренням не має зворотного зв'язку між виходом об'єкта керування і входом регулятора і є системою з розімкненим контуром керування.

Слід зазначити, що система автоматичного керування за збуренням автоматично компенсує вплив на режим роботи об'єкта керування тільки тих зовнішніх збурень, які виміряні.

Зазвичай керування ведеться за основним збуренням, що викликає найбільші відхилення керованої величини від її заданого значення. Таке зовнішнє збурення визначається, як правило, експериментально, виходячи з умов можливого функціонування САК, на основі аналізу залежностей між керованою величиною й зовнішніми збуреннями. Налаштування параметрів виконавчого органа регулятора проводиться за нульового або номінального значення зовнішнього збурення.

При комбінованому керуванні одночасно використовуються обидва розглянутих вище принципи керування. Система з комбінованим керуванням має як замкнутий контур керування за відхиленням, так і додатковий ланцюг компенсації одного зі збурень, що діють на об'єкт керування.

Принципову схему системи комбінованого керування показано на рис.2.3. Замкнутий контур керування за відхиленням забезпечує компенсацію впливу на керовану величину всіх зовнішніх збурень, що діють на об'єкт керування і регулятор.

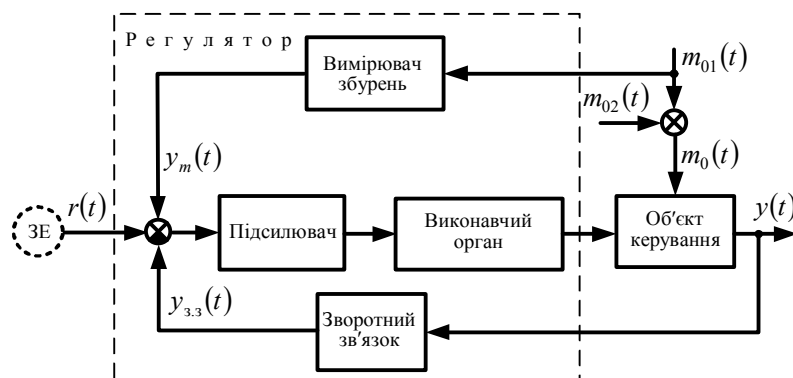


Рис. 2.3. Функціональна схема САК комбінованого керування

Для підвищення точності керування і компенсації впливу основного збурення  $m_{01}(t)$ , що викликає найбільше відхилення керованої величини, служить розімкнений ланцюг керування за основним збуренням.

Спеціальний пристрій вимірює основне збурення  $m_{01}(t)$ ; результати вимірювання перетворюються на керуючий сигнал  $y_m(t)$ , який вводиться в замкнутий контур керування за відхиленням і є додатковим коригувальним керуючим сигналом, що підвищує якість керування.

При комбінованому керуванні можливо забезпечити незалежність (інваріантність) керованої величини від основного збурення й отримати максимальну точність керування. Застосування комбінованого керування дозволяє розширити діапазон роботи систем і значно поліпшити їх якісні показники. В даний час комбіновані системи найбільш інтенсивно розвиваються в усіх областях техніки.

Таким чином, ключовими елементами будь-якої системи автоматичного керування (САК) є об'єкт керування й регулятор.

Об'єктом керування називається робочий механізм, агрегат, машина або технологічний процес, режими роботи яких автоматизуються.

Найбільш часто на практиці зустрічаються інерційні об'єкти керування та об'єкти керування з чистим запізненням.

До інерційних об'єктів відносяться об'єкти керування, зміни керованих координат яких відстають за часом від змін керуючих координат, що їх викликали. Прикладами можуть служити літаки, ракети, кораблі, танки ...

Структурна (а) схема інерційного об'єкта керування і його перехідна характеристика (б) подані на рис. 2.4.

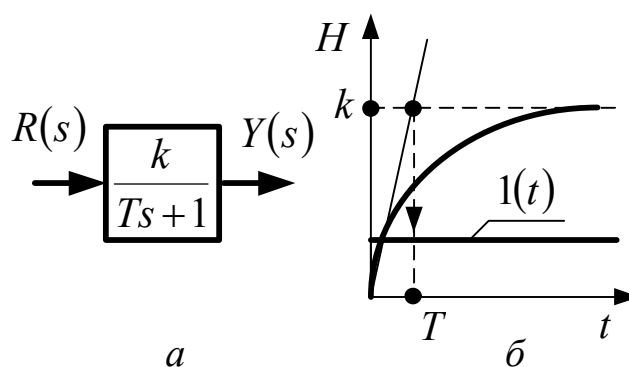


Рис. 2.4. Динамічні характеристики інерційного об'єкта керування

До інерційних об'єктів з чистим запізненням відносять інерційні об'єкти керування, зміни керованих координат яких повторюють із зсувом за часом зміни керуючих координат, що їх викликали. Прикладами є різні технологічні процеси: прокатні стани, доменні печі, водоводні системи ...

Структурну (а) схему і перехідну характеристику (б) інерційного об'єкта керування з запізненням наведено на рис. 2.5.

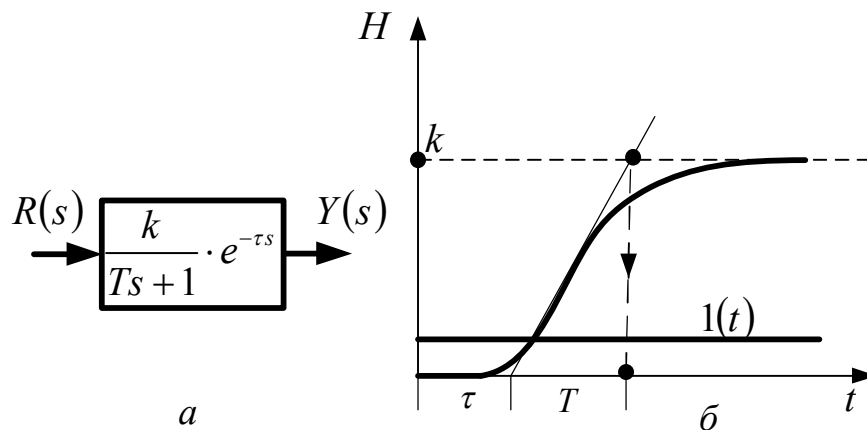


Рис. 2.5. Динамічні характеристики інерційного об'єкта керування з запізненням

Позначення, прийняті на рисунках:  $k$  - коефіцієнт посилення (передачі);  $T$  - постійна часу об'єкта керування;  $\tau$  - час запізнювання.

Передатні функція об'єктів керування зазвичай визначаються за результатами ідентифікації моделей.

Регулятором будьмо називати комплекс автоматично діючих приладів, механізмів і машин, які здійснюють управління режимом роботи об'єкта керування за певним заданим настроюванням законом.

Схемні рішення регуляторів для систем стабілізації можуть бути різними.

У багатьох випадках для автоматизації інерційних динамічних об'єктів і технологічних процесів використовуються найбільш поширені типи регуляторів, представлені нижче.

- Пропорційний регулятор (П – регулятор).

Керуючий сигнал, що формується в регуляторі  $u(t)$ , пропорційний сигналу розузгодження  $\xi(t)$ , тобто  $u(t) = k_{\text{рег}} \cdot \xi(t)$ ,

де  $k_{\text{рег}}$  - коефіцієнт підсилення (передавання) регулятора.

Передатна функція регулятора має вигляд

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}}. \quad (2.1)$$

Якщо об'єкт керування не містить інтегруючих ланок, то система з П-регулятором є статичною. Регулювання в цьому випадку характеризується наявністю статичної помилки, зменшення якої обмежено умовами стійкості.

- Пропорційно-інтегруючий регулятор (ПІ – регулятор).

Керуючий вплив, що формується на виході регулятора, містить пропорційну і інтегральну складові:

$$u(t) = k_{\text{пер}} \cdot \xi(t) + \frac{k_i}{T_i} \int \xi(\tau) d\tau, \quad (2.2)$$

де  $k_i, T_i$ , - коефіцієнт передачі та постійна часу інтегральної складової регулятора відповідно.

Передатна функція регулятора приймає вигляд

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}} + \frac{k_i}{T_i s}. \quad (2.3)$$

Перевагою ПІ - регулятора є те, що він усуває статичну помилку, обумовлену обуренням. Однак введення інтегральною складовою в регулятор погіршує умови стійкості.

- Пропорційно-диференціюючий регулятор (ПД – регулятор).

Керуючий вплив, що формується на виході регулятора, містить пропорційну і диференціюючу складові:

$$u(t) = k_{\text{пер}} \cdot \xi(t) + k_d T_d \frac{d\xi(t)}{dt}, \quad (2.4)$$

де  $k_d, T_d$  - коефіцієнт передачі та постійна часу диференціюючої складової регулятора відповідно.

Передатна функція регулятора приймає вигляд

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}} + k_d T_d s. \quad (2.5)$$

Регулятор реагує не тільки на величину сигналу розузгодження, але й на швидкість його зміни. Завдяки цьому при використанні ПД - закону керування досягається ефект випереджаючого керування.

- Пропорційно-інтегро-диференціюючий регулятор (ПІД-регулятор).

Керуючий вплив, що формується регулятором, містить, крім пропорційної і інтегральної складових, третю складову, пропорційну похідній сигналу розузгодження:

$$u(t) = k_{\text{пер}} \cdot \xi(t) + \frac{k_i}{T_i} \int \xi(\tau) d\tau + k_d T_d \frac{d\xi(t)}{dt}. \quad (2.6)$$

Регулятор описується передатною функцією

$$W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}} + \frac{k_i}{T_i s} + k_d T_d s. \quad (2.7)$$

У більшості випадків за допомогою правильно налаштованого ПІД-регулятора вдається виконати всі вимоги до системи. Згідно зі статистикою більш 90% промислових регуляторів є саме ПІД-регулятори.

Конструктивно регулятори можуть комплектуватися з окремих датчиків. У цьому випадку модель регулятора буде являти собою композицію моделей компонент, які в нього входять. На рис. 2.6(a) відображено структурну схему ПД - регулятора, який утворений з гіроскопічного датчика кута і гіроскопічного датчика швидкості.

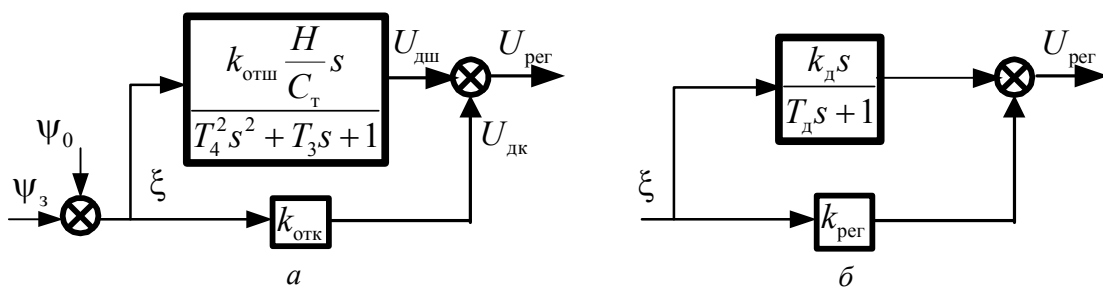


Рис. 2.6. Структурна схема ПД - регулятора

На схемі прийняті позначення:  $k_{\text{отш}}$  - коефіцієнт посилення обертового трансформатора датчика швидкості;  $H, C_T$  - параметри датчика швидкості;  $T_4, T_3$  - постійні часу датчика швидкості;  $k_{\text{отк}}$  - коефіцієнт посилення обертового трансформатора датчика кута.



Вводячи стандартні позначення для коефіцієнтів передачі та сталих часу  $k_d = k_{\text{отп}} \frac{H}{C_T}$ ,  $k_{\text{рег}} = k_{\text{отк}}$ ,  $T_d = T_3 \ll T_4$ , отримуємо структурну схему ПД - регулятора в класичному вигляді. Схема показана на рис. 2.6 (б).

У разі виконання регулятора у вигляді вирішального блоку, структурна схема, наприклад ПД - регулятора, може бути отримана на підставі розглянутої вище його передатної функції (2.7). Схему наведено на рис. 2.7.

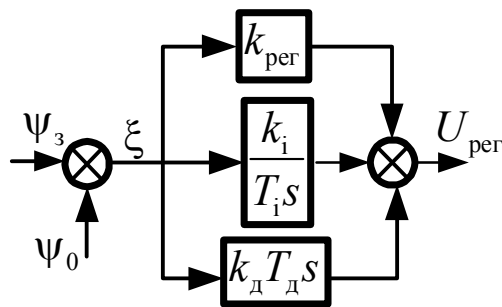


Рис. 2.7. Структурна схема ПД – регулятора

Тип, конструктивне виконання та передатна функція регулятора – обираються розроблювачем на основі власних переваг з класу типових алгоритмів керування інерційними об'єктами.

В даний час існує цілий клас систем стабілізації інерційними об'єктами, які виконуються як дискретні (цифрові). На рис.2.8 наведено систему, що виконана на базі цифрового комп'ютера.

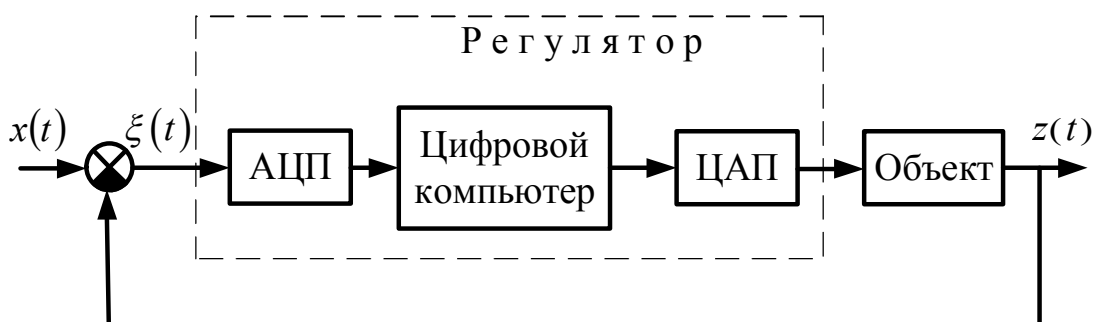


Рис.2.8. Цифрова система

Цифровий комп'ютер в цій системі виконує функції регулятора. Дискретні (цифрові) регулятори вводять до складу автоматичних систем коли для вирішення завдань потрібна складна обробка інформації або виконання таких

операцій, які не можуть бути здійсненні з необхідною точністю за допомогою аналогових.

Таким чином, вибір базових компонент стабілізаторів інерційних об'єктів є одним з найважливіших етапів їх проектування і модернізації.

## 2.2 Принципи синтезу цифрових регуляторів

У параграфі 2.1 були розглянуті регулятори, які застосовуються в системах стабілізації інерційними об'єктами.

Рівняння руху ПІД - регулятора в загальному випадку має вигляд

$$u(t) = k_{\text{пер}} \cdot \xi(t) + \frac{k_i}{T_i} \int \xi(\tau) d\tau + k_d T_d \frac{d\xi(t)}{dt}, \quad (2.8)$$

а його передатна функція  $W_{\text{пер}}(s) = \frac{U(s)}{\xi(s)} = k_{\text{пер}} + \frac{k_i}{T_i s} + k_d T_d s$ .

У процесі синтезу регулятора визначенню підлягають: коефіцієнт передачі (посилення)  $k_{\text{пер}}$ , коефіцієнт передачі  $k_i$  і стала часу  $T_i$  інтегральної складової, коефіцієнт передачі  $k_d$  і стала часу  $T_d$  диференціуючої складової. В окремому випадку будь-якої з коефіцієнтів передачі може бути нульовим.

Цифрові ПІД-регулятори також описуються рівнянням (2.8). Відмінність полягає лише в тому, що в цифрових регуляторах операції інтегрування і диференціювання виконуються чисельними методами.

Так, операція інтегрування при використанні - перетворення, може бути записана як

$$U_{\text{пер}}[z] = \frac{k_i T_z}{z-1} \xi[z], \quad (2.9)$$

а операція диференціювання

$$U_{\text{пер}}[z] = \frac{k_d (z-1)}{T_z} \xi[z]. \quad (2.10)$$

Виходячи з цього, в даний час існує два підходи до синтезу цифрових регуляторів:

- у першому випадку період квантування  $T$ , який є кроком численних інтегрування і диференціювання, вибирають настільки малим, що всі операції виконуються з високою точністю. Тоді для визначення  $k_{\text{пер}}$ ,  $k_i$  і  $k_d$  можна скористатися методами відомими для аналогових регуляторів;

- інший підхід передбачає, що для отримання передатної функції цифрового регулятора можуть бути використані передатні функції численних операцій інтегрування і диференціювання

$$W_{\text{цр}}[z] = \frac{U_{\text{пер}}[z]}{\xi[z]} = k_{\text{пер}} + \frac{k_i T z}{z-1} + \frac{k_d(z-1)}{Tz}. \quad (2.11)$$

Структурну схему цифрового ПІД - регулятора представлено на рис.2.9.

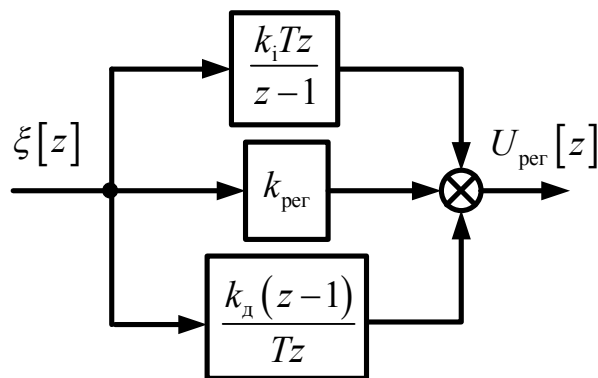


Рис.2.9. Цифровий ПІД-регулятор

Моделі системи з ПІД - й ПІ - регуляторами можуть бути отримані шляхом накладення обмежень на ПІД - модель.

Цифровий регулятор може бути включений як послідовно, так і паралельно з об'єктом керування.

На рис. 2.10 приведена система з цифровим регулятором послідовного включення.

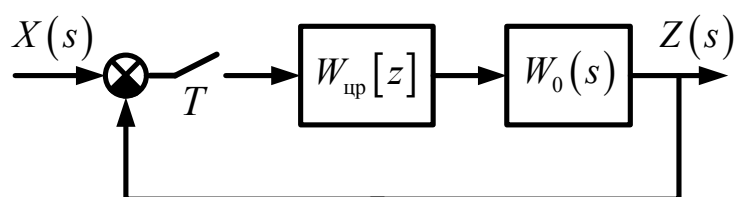


Рис. 2.10. Послідовне включення регулятора

Тут прийняті позначення  $W_{\text{цр}}[z]$ ,  $W_0(s)$  - передатні функції цифрового регулятора і об'єкта керування відповідно.

Характеристичне рівняння системи

$$1 + W_{\text{цр}}[z] W_0[z] = 0 \quad (2.12)$$

визначається з еквівалентної дискретної передатної функції

$$W_{\text{екв}}[z] = \frac{Z[z]}{X[z]} = \frac{W_{\text{цр}}[z] W_0[z]}{1 + W_{\text{цр}}[z] W_0[z]}.$$

На рис. 2.11 приведено систему з цифровим регулятором рівнобіжного включення.

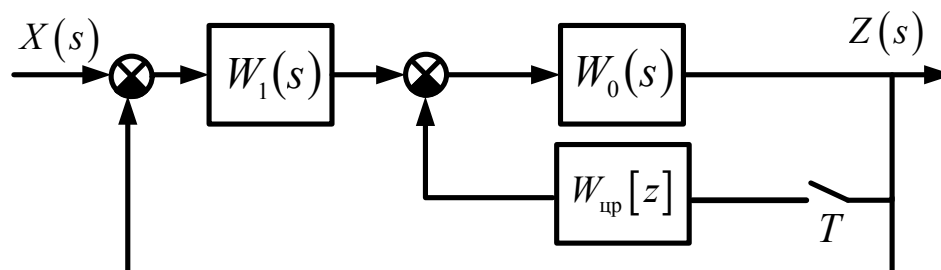


Рис. 2.11. Рівнобіжне включення регулятора

Характеристичне рівняння системи при рівнобіжному включенні

$$1 + \left( \frac{W_0}{1 + W_1 W_0} \right) [z] W_{\text{цр}}[z] = 0 \quad (2.13)$$

визначається з рівняння її руху

$$Z[z] = \frac{\left( \frac{W_1 W_0 X}{1 + W_1 W_0} \right) [z]}{1 + \left( \frac{W_0}{1 + W_1 W_0} \right) [z] W_{\text{цр}}[z]}.$$

Таким чином, вплив того чи іншого виду включення регулятора на властивості системи визначиться характеристичними рівняннями (2.12), (2.13), до складу яких входить передатна функція цифрового регулятора.

### 2.3 Методи оцінки впливу регуляторів на якість систем стабілізації

Синтез дискретних систем керування, як і безперервних, полягає в оптимізації їх параметрів з метою забезпечення необхідних показників стійкості і якості. Зазвичай дана задача вирішується вибором структури і параметрів цифрового регулятора при збереженні незмінними значень параметрів інших елементів системи.

Перед тим як розраховувати параметри регулятора розробнику необхідно сформулювати мету і критерії якості керування, а також обмеження на величини і швидкості зміни змінних в системі. Традиційно основні якісні показники формулюються виходячи з вимог до форми реакції замкнутої системи на ступінчастий вплив.

У загальному випадку вибір показників якості не може бути формалізований повністю і повинен здійснюватися виходячи зі змісту розв'язуваної задачі.

Якість функціонування будь-якої дискретної автоматичної системи, як і безперервної, визначається її точністю.

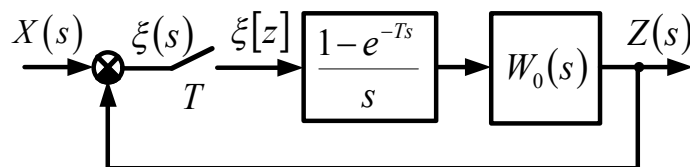


Рис.2.12. Дискретна система керування

Основним показником якості дискретної системи в сталому режимі прийнято вважати усталену помилку, яка визначається як різниця між входом і виходом системи в моменти квантування.

$$\xi[k] = \lim_{k \rightarrow \infty} \xi[k] = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z-1)}{1 + W_p[z]} X[z].$$

Бачимо, що для обчислення помилки і її класифікації необхідно знати вид сигналу керування, що прикладається до системи.

Помилку, викликану постійним сигналом керування

$x(t) = 1(t) \Rightarrow X[z] = \frac{z}{z-1}$ , прийнято називати сталою помилкою по положенню

(позиційною помилкою):

$$\xi_n[k] = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z-1)}{1+W_p[z]} \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{1}{1+\lim_{z \rightarrow 1} W_p[z]}.$$

Помилку, викликану наростаючим у часі сигналом

$x(t) = kt \Rightarrow X[z] = \frac{kTz}{(z-1)^2}$ , називають сталою помилкою по швидкості

(швидкісний помилкою):

$$\xi_c[k] = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z-1)}{1+W_p[z]} \cdot \frac{kTz}{(z-1)^2} = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{kT}{(z-1)W_p[z]}.$$

При дії на дискретну систему випадкової послідовності  $x[k]$  її помилка може бути визначена з використанням імовірнісних характеристик дискретних випадкових процесів наприклад спектральної щільності помилки

$$S_\xi[e^{j\omega T}] = |W_\xi[e^{j\omega T}]|^2 \cdot S_x[e^{j\omega T}],$$

де  $S_x[e^{j\omega T}]$  - спектральна щільність сигналу керування.

Інтегрування спектральної щільності помилки на всьому діапазоні частот дає середній квадрат помилки системи

$$\sigma_\xi^2[k] = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} S_\xi[e^{j\omega T}] d\omega = \frac{T}{2} \int_0^{\pi/T} S_\xi[e^{j\omega T}] d\omega.$$

На практиці для оцінки похибки системи частіше використовується середньоквадратичне значення помилки

$$\sigma_\xi[k] = \sqrt{\sigma_\xi^2[k]}.$$

Показниками якості дискретної системи в динаміці, тобто в перехідних режимах роботи, як правило служать прямі показники якості, які визначаються безпосередньо по перехідній характеристиці:

- час регулювання  $t_p$  - час, протягом якого регульована величина досягає

свого сталого значення;

- час відпрацювання  $t_b$  - час, за яке регульована величина перший раз досягне свого сталого значення;

- показник коливальності  $n$  - кількість перебігаючи регульованої величини щодо сталого значення;

- перерегулювання - перевищення першого перебігаючи регульованої величини щодо її сталого значення

$$z_p[k]\% = \frac{z[k]_{\max} - z[\infty]}{z[\infty]} 100\%.$$

Побудувати перехідну характеристику можна безпосередньо з дискретної перехідної функції  $H[k]$

$$H[k] = C_1 z_1^k + C_2 z_2^k + \dots + C_n z_n^k,$$

де  $z_v$  - некрлатні корені характеристичного рівняння

$$A[z] = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \dots + a_n = 0;$$

$C_v$  - постійні інтегрування.

Особливістю перехідних процесів дискретних систем може стати їх завершення за кінцеве число кроків  $t_p = fT$  при  $f < k$ .

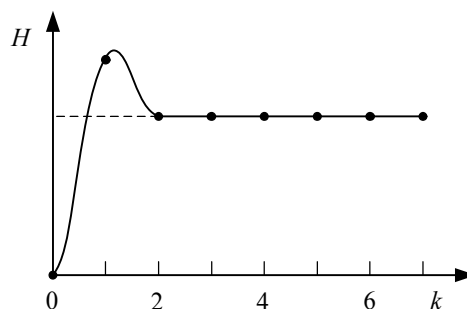


Рис. 2.13. Дискретна перехідна функція:  $f = 2$ ,  $k = 7$

Умовою існування такого перехідного процесу є рівність нулю всіх коефіцієнтів характеристичного многочлена  $A[z]$  замкнутої системи, крім нульового  $a_0 \neq 0$ ;  $a_1 = a_2 = \dots = a_k = 0$ .

Дискретні системи керування, так само як і безперервні, працездатні, якщо вони стійкі. Забезпечення стійкості систем є однією з основних задач розробника цифрових регуляторів.

Відомо, що межа стійкості дискретних систем являє собою коло одиничного радіуса комплексної  $z$ - площині (рис. 2.14). Тобто, дискретна система буде стійка, якщо всі корені її характеристичного рівняння знаходяться всередині кола одиничного радіуса.

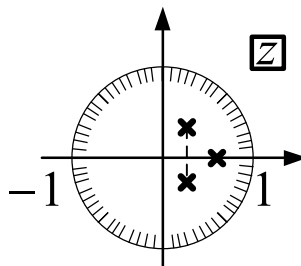


Рис.2.14. Межа стійкості дискретних систем керування

Разом з тим, досліджувати стійкість дискретних систем шляхом визначення коренів характеристичного рівняння не завжди зручно. На практиці найбільш широкого поширення набули методи, засновані на використанні алгебричних і частотних критеріїв.

Частотні критерії були розглянуті і застосовані в бакалаврській роботі автора. Тому в магістерській зупинимося більш детально на алгебричних.

По-перше, для того щоб всі корені характеристичного рівняння дискретної системи

$$A[z] = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \dots + a_{n-1} z + a_n = 0$$

були по модулю менше одиниці, необхідно, щоб при  $a_0 > 0$  виконувалися нерівності



$$A[z] \Big|_{z=1} > 0 \quad \text{і} \quad (-1)^n A[z] \Big|_{z=-1} > 0 .$$

Дана умова є необхідною, але недостатньою ознакою стійкості дискретних систем.

По-друге, якщо скористатися білінійної перетворення

$$z = \frac{1+w}{1-w},$$

то для оцінки дискретних систем можуть бути застосовані добре відомі критерії стійкості систем безперервних.

Наприклад, застосовуючи до характеристичного рівняння

$$A[z] = a_0 z^3 + a_1 z^2 + a_2 z + a_3 = 0$$

дискретної системи білінійної перетворення, отримуємо

$$\begin{aligned} A[w] = (a_0 - a_1 + a_2 - a_3)w^3 + (3a_0 - a_1 - a_2 + 3a_3)w^2 + \\ + (3a_0 + a_1 - a_2 - 3a_3)w + (a_0 + a_1 + a_2 + a_3) = 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Необхідною умовою забезпечення стійкості будуть позитивні коефіцієнти характеристичного рівняння

$$\begin{aligned} (a_0 - a_1 + a_2 - a_3) > 0; \\ (3a_0 - a_1 - a_2 + 3a_3) > 0; \\ (3a_0 + a_1 - a_2 - 3a_3) > 0; \\ (a_0 + a_1 + a_2 + a_3) > 0, \end{aligned} \quad (2.15)$$

а відповідно до критерію стійкості Вишнеградського одержуємо

$$(3a_0 - a_1 - a_2 + 3a_3)(3a_0 + a_1 - a_2 - 3a_3) > (a_0 - a_1 + a_2 - a_3)(a_0 + a_1 + a_2 + a_3)$$

або 
$$a_0^2 - a_0 a_2 + a_1 a_3 - a_3^2 > 0. \quad (2.16)$$

Критерій стійкості Гурвіца-Раута дозволяє отримати систему з рівнянь (2.15) і (2.16). Може бути застосований критерій Джури та інші.

При дослідженні стійкості дискретних систем, що описуються різницевиими рівняннями високого порядку, все ж зручніше користуватися

частотними критеріями, наприклад аналогами критеріїв Михайлова або Найквіста-Михайлова.

## 2.4 Алгоритм проектування регуляторів

Процедуру синтезу ПІД-регулятора найпростіше описати, розглядаючи окремі гілки його структурної схеми, вважаючи інші відсутніми.

На рис. 2.15 зображена замкнута система з автоматичного керування.

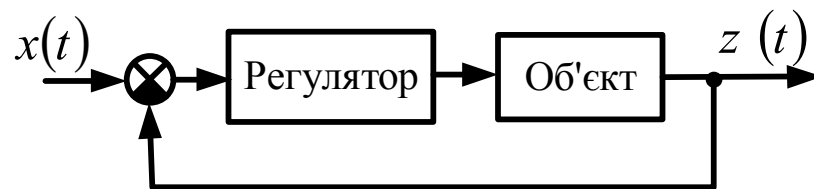


Рис. 2.15. Система автоматичного керування

Припустімо, що маємо систему з П - регулятором, а передатна функція об'єкту нам відома. Розраховуємо частотні характеристики системи, вважаючи коефіцієнт посилення регулятора рівним одиниці: АФЧХ -  $|W_p(j\omega)|$ , ЛАЧХ -  $L_p(\omega)$ , ФЧХ -  $\varphi(\omega)$ . Характеристики можуть бути подані графічно або в табличному вигляді:

$\omega$	$ W_p(j\omega) $	$L_p(\omega)$	$\varphi_m(\omega)$
0,1	19,87	25,96	-98,57
0,2	9,75	19,78	-107,02
0,3	6,31	16,00	-115,23
0,4	4,55	13,16	-123,11
<b>0,5</b>	<b>3,47</b>	<b>10,80</b>	<b>-130,60</b>
0,6	2,73	8,74	-137,66
0,7	2,2	6,88	-144,28
0,8	1,81	5,16	-150,46
0,9	1,5	3,55	-156,21
1,0	1,26	2,04	-161,56
1,14	1,00	<b>0,0005</b>	<b>-168,57</b>
1,41	0,66	<b>-3,52</b>	<b>-180,00</b>
2,0	0,31	-10,00	-198,43
3,0	0,11	-18,64	-217,87
4,0	0,05	-25,31	-229,39
5,0	0,02	-30,71	-236,88
6,0	0,015	-35,22	-242,10
7,0	0,011	-39,09	-245,92
8,0	0,007	-42,47	-248,83
9,0	0,005	-45,47	-251,13

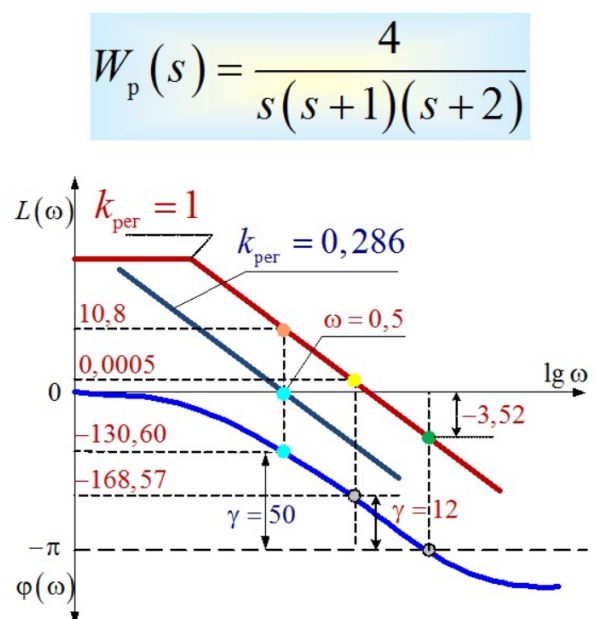


Рис. 2.16. Частотні характеристики

Звернемо увагу, що при  $|W_p(j\omega)|=1$  або  $L_p(\omega) \approx 0$  ФЧХ приблизно дорівнює  $\varphi(\omega) \approx 168^\circ$ , тобто система має запас стійкості по фазі  $\gamma = 12^\circ$ .

Запас стійкості за модулем  $h$  знайдемо при  $\varphi(\omega) \approx 180^\circ$ . Він дорівнює  $h = 3,5 \text{ дб}$ . Ці значення занадто малі, щоб очікувати гарної перехідної характеристики.

Припустимо, що запас системи по фазі повинен бути рівний  $\gamma = 50^\circ$ . Це означає, що при деякій частоті  $\omega$ , на якій  $\varphi(\omega) = 130^\circ$ , повинна виконуватися умова  $|W_p(j\omega)|_{\text{пер}} = 1$ .

Оскільки введення П-регулятора не впливає на фазо-частотну характеристику  $\varphi(\omega)$  розімкненої системи, то з таблиці знаходимо, що необхідний запас стійкості по фазі скоригованої системи повинен мати місце при частоті  $\omega \approx 0,5 \text{ с}^{-1}$ .

Так як модуль частотної передатної функції розімкненої системи на цій частоті приблизно дорівнює  $|W_p(j\omega)| \approx 3,5$ , то коефіцієнт посилення регулятора необхідно вибрати з умови  $|W_p(j\omega)|_{\text{пер}} = k_{\text{пер}} \cdot |W_p(j\omega)|$ .

Підставляючи чисельні значення, отримуємо  $k_{\text{пер}} = \frac{1}{3,5} = 0,286$ .

Синтез П-регулятора завершено. Перехідні характеристики замкнутих систем вихідної і при наявності синтезованого регулятора подані на рис. 2.17.

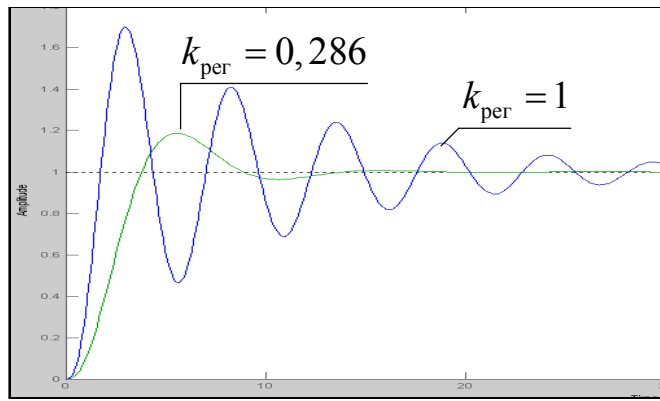


Рис. 2.17 Перехідні характеристики

Принципи синтезу ПІ- і ПД- регуляторів аналізованої системи ілюструють рис. 2.18 - 2.19.

$\omega$	$ W_p(j\omega) $	$L_p(\omega)$	$\varphi_m(\omega)$
0,1	19,87	25,96	-98,57
0,2	9,75	19,78	-107,02
0,3	6,31	16,00	-115,23
0,4	4,55	13,16	-123,11
0,5	3,47	10,80	-130,60
0,6	2,73	8,74	-137,66
0,7	2,2	6,88	-144,28
0,8	1,81	5,16	-150,46
0,9	1,5	3,55	-156,21
1,0	1,26	2,04	-161,56
1,14	1,00	0,0005	-168,57
1,41	0,66	-3,52	-180,00
2,0	0,31	-10,00	-198,43
3,0	0,11	-18,64	-217,87
4,0	0,05	-25,31	-229,39
5,0	0,02	-30,71	-236,88
6,0	0,015	-35,22	-242,10
7,0	0,011	-39,09	-245,92
8,0	0,007	-42,47	-248,83
9,0	0,005	-45,47	-251,13

1 Коefіцієнт посилення початкової САК не змінюємо

2 Розраховуємо  $|W_p(j\omega)|$ ,  $L_p(\omega)$ ,  $\varphi_m(\omega)$

3 Задаємося запасом стійкості по фазі  $\gamma_{\text{per}} = 50^\circ$

4 Знаходимо фазовий зсув

$\varphi_{\text{per}}(\omega) = -180^\circ + 50^\circ + 5^\circ = 125^\circ$  і відповідну йому частоту  $\omega_1 = 0,4$

5 Визначаємо значення модуля  $|W_p(j\omega_1)| = 4,55$

6 Визначаємо коefіцієнт посилення регулятора

$$k_{\text{per}} = 1/|W_p(j\omega_1)| = 1/4,55 = 0,22$$

7 Знаходимо значення частоти  $\omega_0 = 0,1$ ,  $\omega_1 = 0,04$

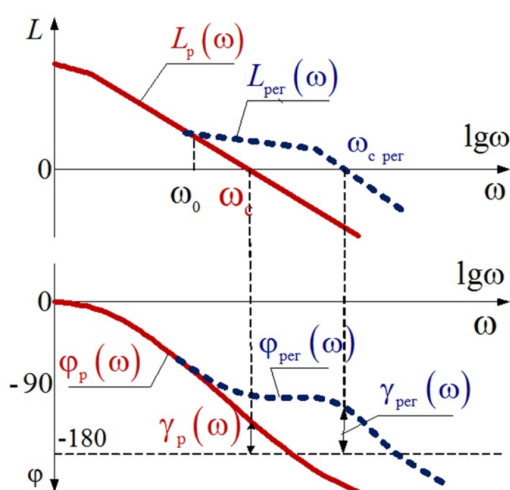
8 Розраховуємо коefіцієнт посилення регулятора

$$k_i = \omega_0 k_{\text{per}} = 0,04 \cdot 0,22 = 0,0088$$

9 Маємо

$$W_{\text{per}}(s) = 0,22 + 0,0088/s$$

Рис. 2.18. Синтез ПІ-регулятора



- вибираємо частоту  $\omega_0 = k_{\text{per}}/k_d$  поблизу  $\omega_c$  початкової  $L_p(\omega)$  системи
- відзначаємо  $\gamma_p(\omega)$  початкової системи
- визначаємо  $k_d = \omega_0 k_{\text{per}}$ , задаючись значенням  $k_{\text{per}} = C$
- будуємо  $L_{\text{per}}(\omega)$  і  $\varphi_{\text{per}}(\omega)$
- відмічаємо  $\gamma_{\text{per}}(\omega)$
- перевіряємо відповідність  $\gamma_{\text{per}}(\omega)$  бажаному значенню
- якщо  $\gamma_{\text{per}}(\omega)$  не відповідає, то коректують  $\omega_0 = k_{\text{per}}/k_d$ , домагаючись необхідного результату

### Рис. 2.18. Синтез ПД-регулятора

ПД-регулятор може бути синтезований за допомогою тих же самих процедур, що і ПІ-, ПД- регулятори.

При цьому в першу чергу розглядається ПІ-канал, як відповідальний за забезпечення необхідного запасу по модулю. У цьому випадку це буде визначено коефіцієнти підсилення регулятора  $k_{\text{рег}}$  й  $k_i$ .

Після цього, за методикою синтезу ПД-каналу визначається коефіцієнт посилення регулятора  $k_d$ , що забезпечує необхідний запас по фазі.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОЕКТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ ІНЕРЦІЙНИХ ДІНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

#### 3.1 Регулятори оптимального керування технологічними процесами

Явища запізнювання зустрічаються в об'єктах різної фізичної природи. Вони спостерігаються не тільки в техніці, але також в біології, економіці та істотно впливають на стійкість і якість процесів керування.

У технологічних процесах часто зустрічається такий вид запізнювання, який називається транспортним або чистим запізненням. Таке запізнювання утворюється, коли, наприклад, речовина або енергія переміщаються з певною швидкістю з однієї точки в іншу без будь-яких змін їх властивостей і характеристик. Прикладом об'єкта з чистим запізненням може служити стан холодної прокатки металу.

При проектуванні технологічних процесів структуру регуляторів зазвичай вибирають виходячи з моделі об'єкта керування. При цьому більш складних об'єктах керування відповідають складніші регулятори.

Всі аналітичні методи проектування регуляторів засновані на апроксимації динаміки інерційного об'єкта - технологічного процесу, моделлю першого або другого порядку з затримкою.

Після розрахунку параметрів регулятора зазвичай потрібно його підстроювання для поліпшення якості регулювання. Для цього можуть бути використані алгоритми проектування, представлені в розділі 2.

<i>КАФЕДРА АКІК</i>				<i>НАУ 22 88 05 000 ПЗ</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						
					<i>151</i>	<i>603</i>	

### 3.1.1 Проектування методом Циглера - Нікольса

Цей метод заснований на використанні даних, отриманих експериментально на об'єкті керування. Найбільшу популярність здобули два варіанти проектування параметрів регулятора за методом Циглера - Нікольса.

У першому варіанті використовується реакція об'єкта керування на одиничний ступінчастий сигнал - перехідна характеристика об'єкта керування. Цю характеристику в технологічних процесах зазвичай називають кривою розгону.

Аперіодична крива розгону показана на рис.3.1.

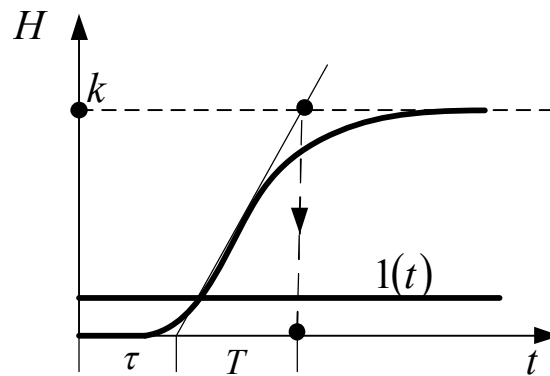


Рис.3.1. Аперіодична крива розгону.

Об'єкти керування, що мають аперіодичну криву розгону, надаються у вигляді послідовного з'єднання аперіодичної і запізнілої ланок.

В цьому випадку передатна функція об'єкта має вигляд

$$W_{\text{ок}}(s) = \frac{k}{T_{\text{ок}}s + 1} \cdot e^{-\tau s},$$

де  $k$  - коефіцієнт посилення (передачі);  $T_{\text{ок}}$  - постійна часу об'єкта керування;  $\tau$  - час запізнювання.

Методику визначення постійної часу і часу запізнювання ілюструє рис.3.1.

Значення параметрів проєктованого регулятора розраховуються безпосередньо за значеннями  $k$ ,  $T_{\text{ок}}$ ,  $\tau$ .

Формули для розрахунку параметрів регулятора наведені в табл. 3.1.

Параметри регуляторів

	$k_{\text{рег}}$	$k_I = \frac{k_i}{T_i}$	$k_D = k_d T_d$
П - регулятор	$T_{\text{ок}}/k\tau$	-	-
ПІ - регулятор	$0,9T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,3T_{\text{ок}}/k\tau^2$	-
ПІД - регулятор	$1,2T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,6T_{\text{ок}}/k\tau^2$	$0,6T_{\text{ок}}/k$

Метод дає гарні результати, якщо  $0,15 < \tau/T_{\text{ок}} < 0,6$ .

Як приклад на рис.3.2 приведена перехідна характеристика (крива1) технологічного процесу як об'єкта керування.

З характеристики технологічного процесу були отримані значення  $T_{\text{ок}} = 4,2\text{с}$  і  $\tau = 0,8\text{с}$ .

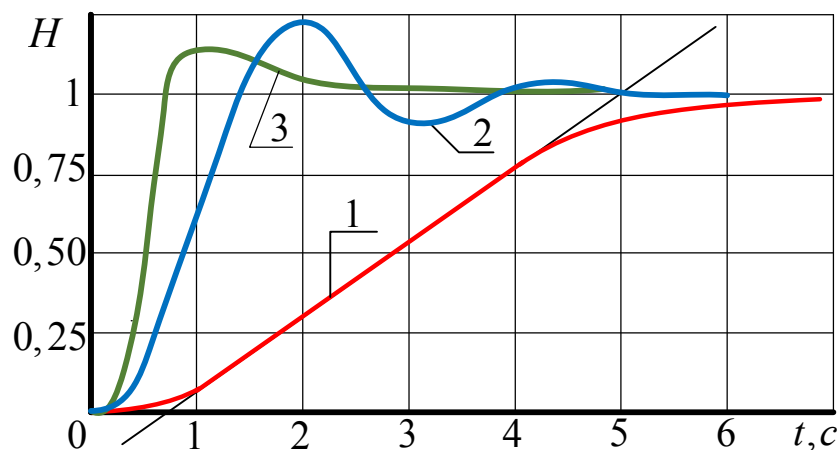


Рис.3.2. Результати проектування ПІД-регулятора

По табл.3.1 для цих значень  $T_{\text{ок}}$  і  $\tau$  були розраховані коефіцієнти ПІД-регулятора:  $k_{\text{рег}} = 6,3$ ,  $k_I = 3,93$ ,  $k_D = 2,52$ .

Перехідна характеристика (крива2) системи керування технологічним процесом з чистим запізненням і ПІД - регулятором, спроектованим за методом Циглера - Нікольса позначена на рис.3.2 як крива 2.



На рис. 3.2 наведена також оптимальна перехідна характеристика (кривая3) системи керування технологічним процесом при скоригованих параметрах  $k_{\text{пер}}$ ,  $k_I$ ,  $k_D$  відповідно до алгоритмів проектування, наданими в параграфі 2.4.

Як бачимо, перший варіант проектування регуляторів методом Циглера-Нікольса дає параметри, що відрізняються від оптимальних, тому що не враховує вимоги до запаса стійкості системи, що є його недоліком. Судячи з повільного згасання перехідного процесу в системі, цей метод дає дуже малий запас стійкості.

Другий варіант проектування регулятора методом Циглера - Нікольса заснований на використанні запасів стійкості.

Процедура проектування починається з експериментального дослідження системи, що складається з П-регулятора і заданого об'єкта керування.

Коефіцієнт посилення П-регулятора збільшується до тих пір, поки на виході системи не встановляться коливання з постійною амплітудою, тобто система не виявиться на межі стійкості.

Фіксується значення коефіцієнта посилення регулятора  $k_{\text{пер}}^*$ , при якому система знаходиться на межі стійкості і вимірюється період  $T^*$  сталих в системі коливань.

Значення параметрів регулятора обраного типу розраховуються за формулами, наведеними в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри регуляторів

	$k_{\text{пер}}$	$k_I$	$k_D$
П - регулятор	$0,50k_{\text{пер}}^*$	-	-
ПІ - регулятор	$0,45k_{\text{пер}}^*$	$0,54 \frac{k_{\text{пер}}^*}{T^*}$	-

ПІД - регулятор	$0,60k_{\text{пер}}^*$	$1,2 \frac{k_{\text{пер}}^*}{T^*}$	$0,075k_{\text{пер}}^* T^*$
-----------------	------------------------	------------------------------------	-----------------------------

Недоліком цього варіанту є необхідність виводити систему на межу стійкості, що для багатьох об'єктів керування робити не рекомендується.

### 3.1.2 Проектування методом CHR

На відміну від Циглера і Нікольса, які використовували як критерій якості настройки декремент загасання, рівний 4, Chien, Hrones і Reswick (CHR) використовували критерій максимальної швидкості наростання при відсутності перерегулювання або при наявності не більше ніж 20% -вого перерегулювання. Такий критерій дозволив отримати більший запас стійкості, ніж в методі Циглера-Нікольса.

CHR метод дає дві різні системи параметрів регулятора. Одну з них отримують при спостереженні реакції об'єкта керування на сигнал керування, а другу - при спостереженні реакції на зовнішні збурення. Яку систему параметрів вибрати - залежить від того, що важливіше для конкретній системи керування.

У таблиці 3 подано алгоритми проектування регуляторів при необхідності забезпечення потрібної якості системи по каналу керування.

Таблиця 3.3

Параметри регуляторів

Регулятор	Без перерегулювання			С 20% перерегулюванням		
	$k_{\text{пер}}$	$k_I$	$k_D$	$k_{\text{пер}}$	$k_I$	$k_D$
П	$0,3T_{\text{ок}}/k\tau$	-	-	$0,7T_{\text{ок}}/k\tau$	-	-
ПИ	$0,35T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,3T_{\text{ок}}/k\tau^2$	-	$0,6T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,6T_{\text{ок}}/k\tau^2$	-
ПІД	$0,6T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,5T_{\text{ок}}/k\tau^2$	$0,83k\tau^2/T_{\text{ок}}$	$0,95T_{\text{ок}}/k\tau$	$0,42T_{\text{ок}}/k\tau^2$	$0,78k\tau^2/T_{\text{ок}}$

Якщо ж важливо і те, і інше, то необхідно використовувати регулятори з двома ступенями свободи.

В останні роки, у зв'язку з появою потужних контролерів і персональних комп'ютерів, отримали розвиток і поширення чисельні методи оптимізації. Вони є гнучким інструментом для оптимального проектування регулятора будь-якої складності і легко враховують нелінійність об'єкта керування і вимоги до робастності.

### 3.2 Експериментальні дослідження в процесі проектування

З метою перевірки достовірності методу Циглера - Нікольса був проведений машинний експеримент.

На рис. 3.3 наведено схему моделі системи управління технологічним процесом

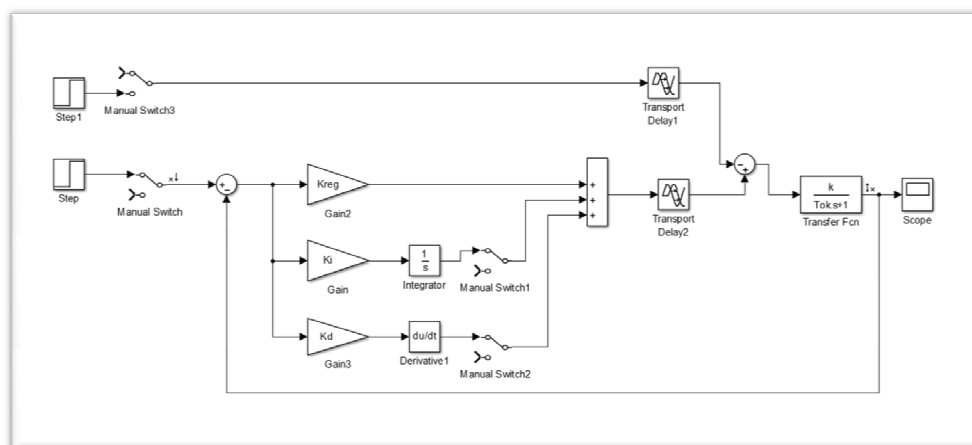


Рис.3.3. Схема моделі системи

Для зручності дослідження системи з різними типами регуляторів і різними видами зовнішніх впливів в схему моделювання були введені ручні перемикачі Manual Switch. Однак при бажанні для кожного варіанту дослідження можна створити і свою модель.

Варіант об'єкта управління і параметри  $T_{ок} = 4,2c$  й  $\tau = 0,8c$  його передатної функції для виконання експериментальних досліджень були запозичені з параграфа 3.1.1.

Програма експерименту полягала в наступному:

- скласти в середовищі моделювання MatLab модель системи з типовими регуляторами згідно зі схемою на рис. 3.3;
- знайти експериментально значення  $k_{\text{рег}}^*$ , при якому система з пропорційним регулятором буде перебувати на межі стійкості. Виміряти період сталих коливань системи  $T_{\text{рег}}^*$ ;
- розрахувати за методом Циглера-Нікольса і встановити на моделі значення коефіцієнта передачі П-регулятора. Простежити і зафіксувати розподіл полюсів і нулів системи і реакцію системи на східчасту зміну збурення. Визначити ступінь стійкості системи;
- повторити дослідження для ПІ- і ПІД - регуляторів;
- порівняти показники якості процесів керування в системі з різними типами регуляторів;
- змінюючи значення коефіцієнтів підсилення ПІД-регулятора, знайти такі їх значення, які забезпечують кращу якість процесів керування.

Матеріали досліджень подано на рис. 3.4 - 3.6.

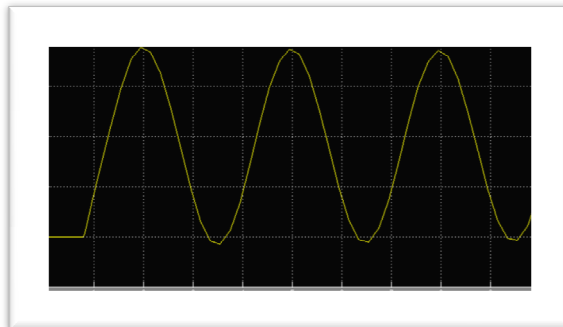


Рис.3.4. Автоколивання в системі керування

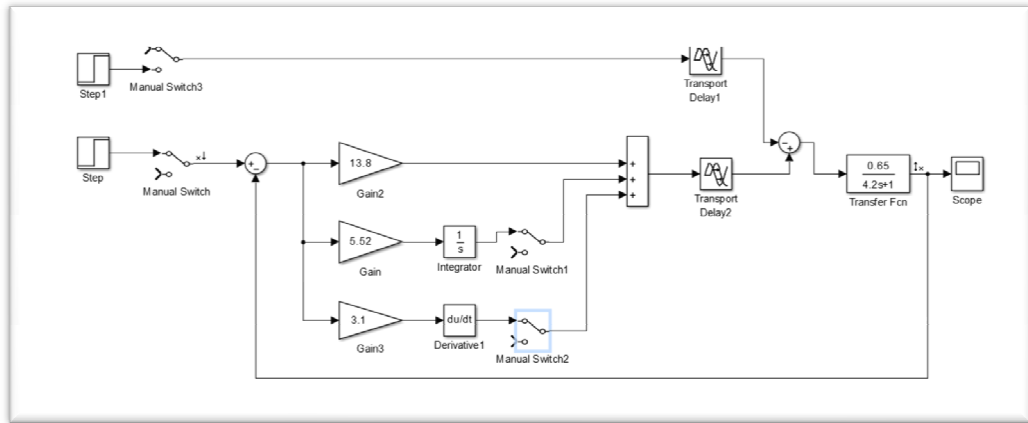
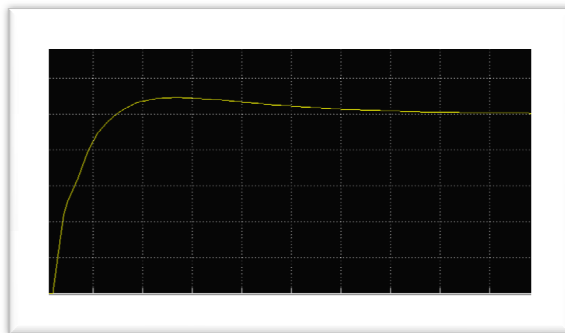
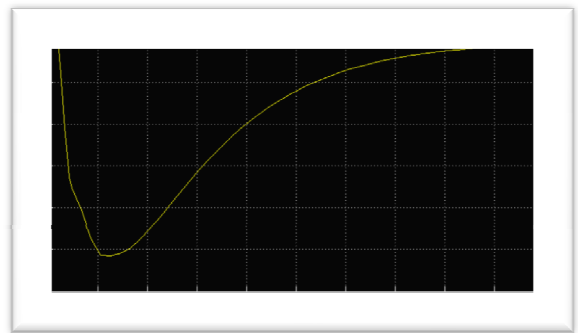


Рис.3.5. Модель з оптимальними параметрами ПД-регулятора



*a*



*б*

Рис.3.6. Перехідні характеристики системи по каналах керування (а) і збурюючого впливу (б)

Узагальнюючи вищевикладене, відзначимо, що пропонувані методи і алгоритми проектування регуляторів технологічних процесів дуже дієві, надають гарні результати і можуть бути покладені в основу автоматизованої системи їх розробки.

### 3.3 Моделювання системи стабілізації інерційного динамічного об'єкта керування з цифровим ПД-регулятором

Системи стабілізації представляють собою спеціальні системи автоматичного керування, призначені для наведення та збереження заданого просторового положення інерційного об'єкта керування при коливаннях його основи.

Наявність структурної схеми - лінійної моделі, системи стабілізації дозволяє виконувати аналіз та синтез її регуляторів при проектуванні або модернізації.

Найбільш поширеними методами опису цифрових (дискретних) систем є методи, засновані на застосуванні різниць ґратчастих функцій і  $Z$  - зображень різницевих рівнянь їх руху. Це дає можливість перейти до структурних зображень рівнянь дискретних систем з подальшим моделюванням систем, їх аналізом і синтезом, наприклад, в середовищі MatLab.

Для побудови математичної моделі – структурної схеми, дискретної системи стабілізації інерційного об'єкта, наприклад курсу корабля, скористаємося типовою структурною схемою безперервної системи стабілізації. Вважаючи постійні часу  $T_4$ ,  $T_3$  датчика кутової швидкості відхилення корабля від курсу величинами другого порядку малості, отримуємо розрахункову структурну схему безперервної системи стабілізації курсу  $\psi_0$  корабля з ПД-регулятором. Схему наведено на рис. 3.7.

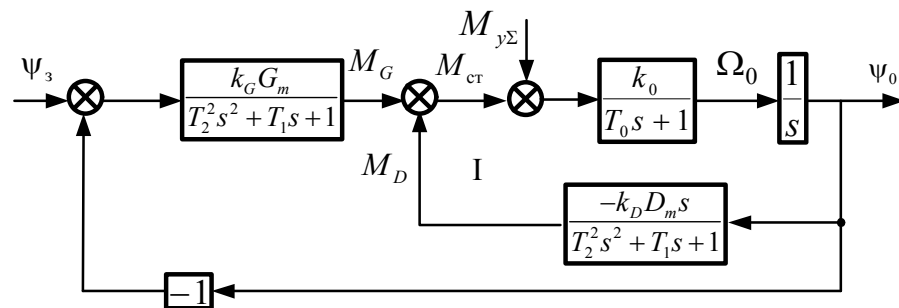


Рис. 3.7. Структурна схема безперервної системи стабілізації курсу корабля з ПД-регулятором

Визначимо місце розташування в моделі квантувача та тип екстраполятора. У загальному випадку можливі три варіанти, які наведено на рис. 3.8.

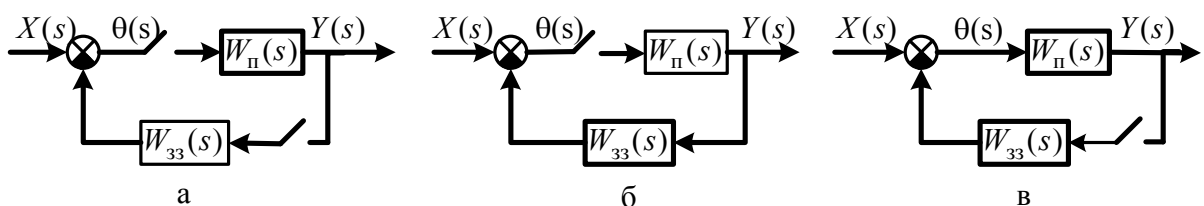


Рис. 3.8. Варіанти розташування квантувача

У першому і другому випадках еквівалентні дискретні передатні функції системи визначаються алгоритмами

$$W_a[z] = \frac{W_{\Pi}[z]}{1 + W_{\Pi}[z]W_{33}[z]}, \quad W_6[z] = \frac{W_{\Pi}[z]}{1 + \overline{W_{\Pi}W_{33}}[z]}.$$

У третьому - за еквівалентну дискретну передатну функцію приймемо

$$W_B[z] = \frac{1}{1 + \overline{W_{\Pi}W_{33}}[z]}$$

за умови, що вхідним сигналом є сигнал  $X(s)W_{\Pi}(s)$ .

З метою зменшення втрат інформації в системі безпосередньо після операції квантування неперервного сигналу вводиться операція відновлення даних. Вона реалізується за допомогою екстраполятора.

Існують екстраполятори нульового і першого порядків. Їх передатні функції відповідно рівні

$$W_{30}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s}; \quad W_{31}(s) = \left( \frac{1 - e^{-Ts}}{s} \right)^2 \cdot \left( \frac{Ts + 1}{T} \right).$$

На практиці використання екстраполятора першого порядку може дати деякий вигравш в точності відновлення інформації при частому квантуванні досить гладких сигналів. Переважна ж більшість реальних відновлюючих пристроїв описуються саме моделлю екстраполятора нульового порядку. Це найбільш простий екстраполятор, легко реалізований за допомогою стандартної апаратури.

Дискретна передатна функція послідовного з'єднання квантувача, екстраполятора нульового порядку і наступної за ними динамічної ланки  $W(s)$  може бути знайдена як

$$W[z] = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W(s)}{s} \right\}.$$

Вважаючи передатні функції прямої ланки  $W_{\Pi}(s)$  і ланки зворотнього зв'язку  $W_{33}(s)$  рівними

$$W_{\Pi}(s) = \frac{I}{s+I}, \quad W_{33}(s) = \frac{I}{s+I},$$

а екстраполятори нульового порядку, були отримані перехідні характеристики для кожної з трьох систем, показаних на рис. 3.8. Результати розрахунків наведено на рис. 3.9.

Аналіз графіків показує, що де б не знаходилися квантувач і екстраполятор - перехідні характеристики системи не відрізняються один від одного. Тому для подальших досліджень був обраний варіант рис. 3.9.б їх розташування.

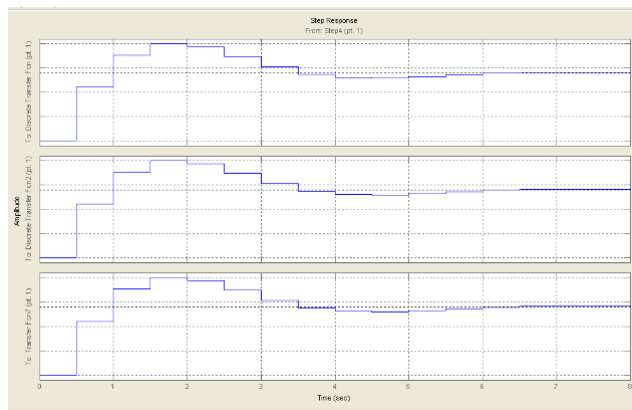


Рис. 3.9. Перехідні процеси системи с різними варіантами розміщення квантувача з екстраполятором

Виходячи з вищевикладеного, структурна схема дискретної системи стабілізації курсу корабля з ПД-регулятором після згортки контуру I набуває вигляду

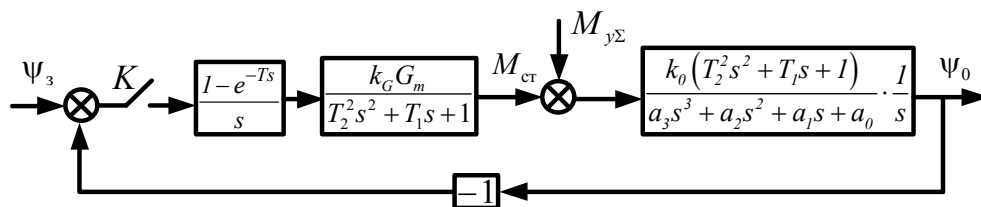


Рис. 3.10. Структурна схема дискретної системи стабілізації з ПД-регулятором

На схемі прийняті позначення

$$a_3 = T_2^2 T_0; a_2 = (T_2^2 + T_1 T_0); a_1 = (T_1 + T_0); a_0 = (1 + k_0 k_D D_m).$$



### 3.4 Параметричний синтез проектованого регулятора

Керуючись принципом суперпозицій, математичні моделі системи стабілізації по кожному з каналів впливу на об'єкт керування – корабель, були приведені до виду, який наведено на рис. 3.11.

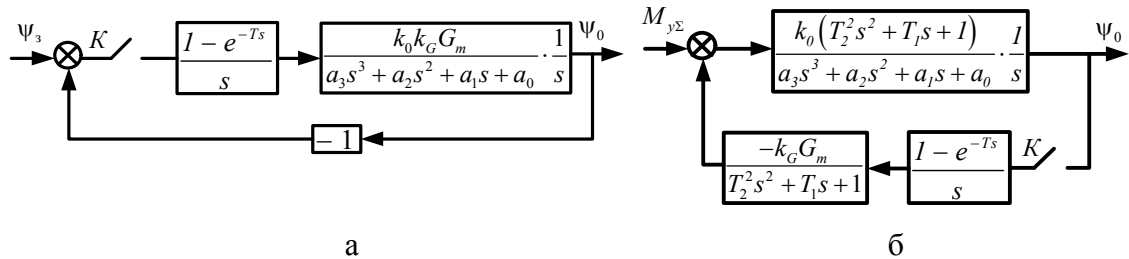


Рис. 3.11. Математичні моделі системи:

а - по каналу сигналу керування; б – по каналу обурюючих впливів

Через обмеження обсягу роботи, далі будуть представлені дослідження системи по каналу сигналу керування. Методика оцінки впливу обурюючих впливів аналогічна.

Наявність структурної схеми системи дозволяє розрахувати її дискретні передатні функції:  $W_{\text{екв}}[z]$  - еквівалентну та  $W_p[z]$  - розімкненого контуру. Для цього достатньо виконати  $Z$  - перетворення

$$W_{\text{екв}}[z] = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{k_0 k_G G_m}{a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2 + a_0 s + k_0 k_G G_m} \cdot \frac{1}{s} \right\};$$

$$W_p[z] = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{k_0 k_G G_m}{a_3 s^4 + a_2 s^3 + a_1 s^2 + a_0 s} \cdot \frac{1}{s} \right\}.$$

У роботі для вирішення даного завдання автором використовувався пакет візуального блочного імітаційного моделювання матричної системи MatLab.

Беручи до уваги значення параметрів системи та параметрів ПД – регулятора відповідно до [1-4], визначаємо еквівалентну дискретну передатну функцію по сигналу керування

$$Wz = \frac{0.0001579 z^2 + 0.0006654 z + 0.0002192}{z^4 - 1.713 z^3 + 0.6966 z^2 + 0.01068 z + 0.006738}.$$

Моделювання системи стабілізації виконувалося по даній функції.

На рис.3.12 наведено дискретну модель в змінних стану, а на рис.3.13 - класичну модель з використанням дискретної передатної функції.

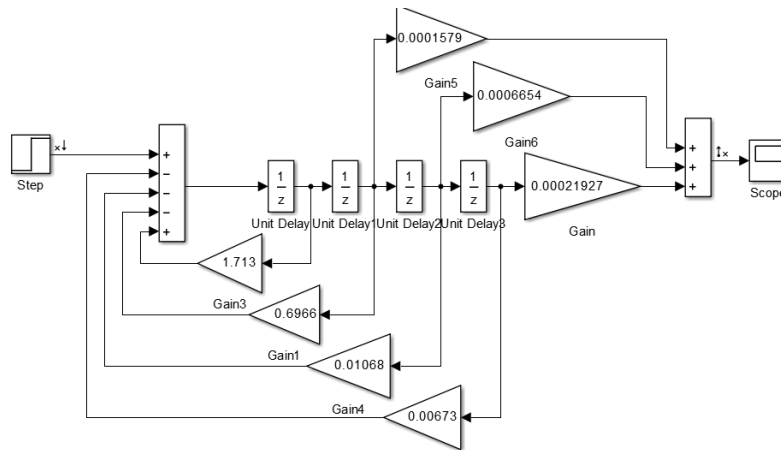


Рис. 3.12. Модель в змінних стану

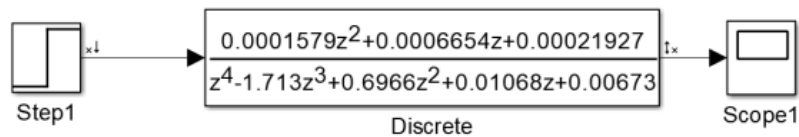


Рис. 3.13 Класична модель

Моделі дають однакові результати. Використовуються ними виходячи з вирішуваних дослідником завдань. Період квантування сигналу приймався рівним  $T = 0,5$  с. Аналогічним чином були отримані моделі розімкненого контуру системи стабілізації.

Результати досліджень з використанням розроблених моделей наведено на рис.3.14 – 3.15.

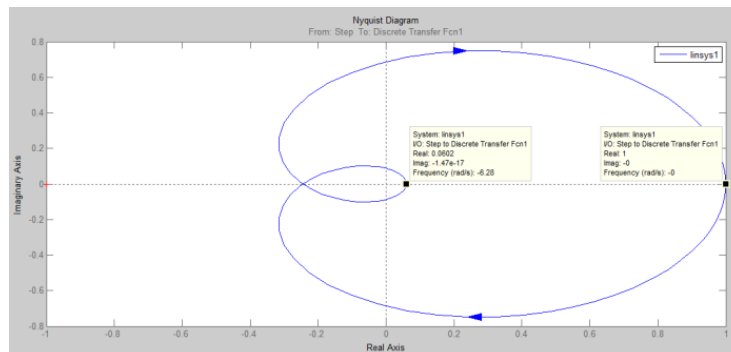


Рис.3.14 АФЧХ дискретної розімкненої системи стабілізації

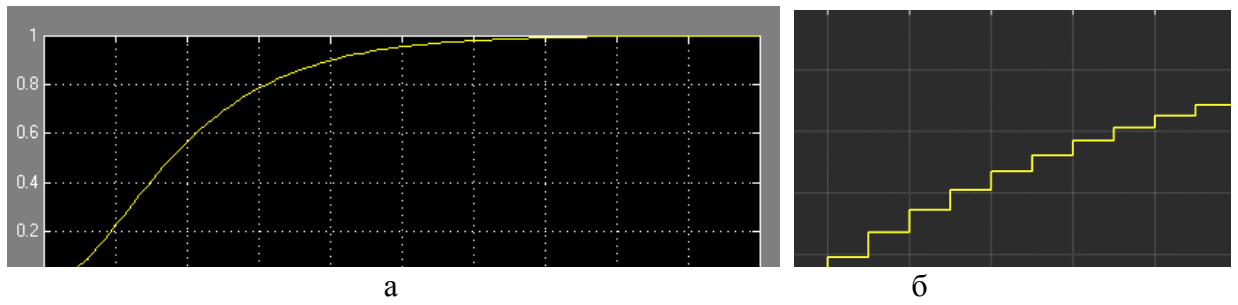


Рис.3.15 Перехідна характеристика (а) і її фрагмент (б) дискретної системи стабілізації

Таким чином, згідно з аналогом критерію Найквіста (рис.3.14) при обраних параметрах ПД - регулятора дискретна система стабілізації буде стійка, а отже і працездатна. Даний висновок підтверджується реакцією системи (рис.3.15) на ступінчастий керуючий вплив.

### 3.5 Обґрунтування оптимального цифрового регулятора інерційного динамічного об'єкта

Схемні рішення цифрових регуляторів для систем стабілізації інерційних об'єктів, в тому числі і для курсу корабля можуть бути різними. Заслужовують на увагу пропорційно-інтегро-диференціюючий (ПІД), пропорційно-інтегруючий (ПІ), пропорційно-диференціюючий (ПД) регулятори.

На рис. 3.16 наведено структурну схему системи стабілізації з цифровим пропорційно-інтегро-диференціюючим регулятором.

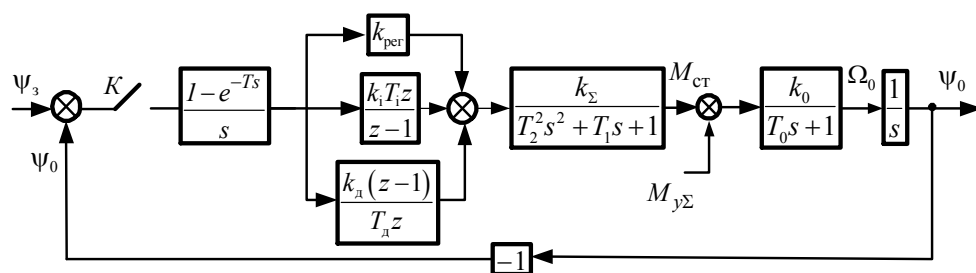


Рис.3.16 Структурна схема системи стабілізації з цифровим ПІД-регулятором

Передатна функція ПІД-регулятора

$$W_{\text{під}}[z] = k_{\text{пер}} + \frac{k_i T_i z}{z-1} + \frac{k_d (z-1)}{T_d z}$$

Він містить три складові: пропорційну, диференціюючу та інтегруючу. Перевагою регулятора є швидкий вихід системи на режим, точне утримання заданої вихідної величини і швидка реакція на впливи керування.

Моделі системи з ПД- й ПІ-регуляторами були отримані шляхом накладення обмежень на ПІД-модель.

ПД-регулятор складається з паралельно з'єднаних пропорційної та диференціюючої ланок

$$W_{\text{пд}}[z] = k_{\text{пер}} + \frac{k_d (z-1)}{T_d z}$$

Він реагує як на сигнал розузгодження  $(\psi_z - \psi_0)$ , так й на швидкість його

зміни. Завдяки цьому при використанні ПД-закону керування досягається ефект випереджаючого керування.

ПІ-регулятор являє собою пропорційний регулятор з інтегральною складовою. Остання потрібна для усунення статичної помилки системи, яка характерна для пропорційного регулятора. Передатна функція ПІ-регулятора має вигляд

$$W_{\text{пі}}[z] = k_{\text{пер}} + \frac{k_i T_i z}{z-1}$$

Моделювання в середовищі MatLab системи стабілізації курсом корабля з різними типами цифрових регуляторів дозволило провести порівняльну оцінку регуляторів і вибрати найкращий.

Близьким до оптимального, виходячи з основних вимог до показників якості систем керування морськими судами, виявився цифровий ПІД-регулятор. Перехідну характеристику (крива1) системи стабілізації курсом корабля з промисловим ПІД-регулятором наведено на рис. 3.17.

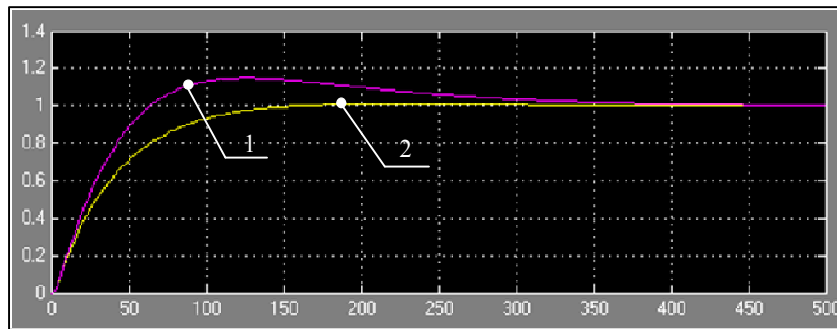


Рис. 3.17. Перехідна функція системи з ПІД-регулятором  
1 – промисловий регулятор; 2 – регулятор з блоком корекції

До недоліків використання промислового цифрового ПІД-регулятора слід віднести наявність, хоч і невеликого, але перерегулювання перехідного процесу, що вкрай неприпустимо для об'єктів керування великий інерційності. Тому, з метою підвищення ефективності дискретної системи стабілізації раніше автором було запропоновано ввести до складу промислового цифрового регулятора систему корекції (рис. 3.18).

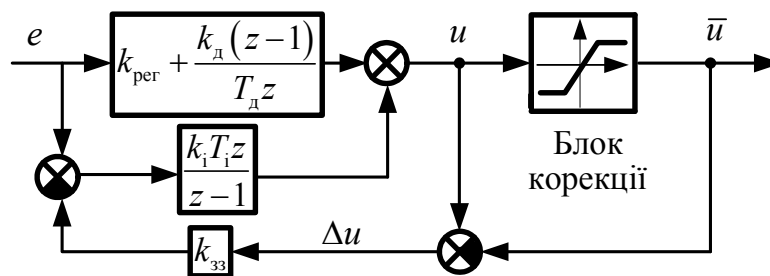


Рис.3.18. Цифровий ПІД-регулятор з системою корекції

Застосування запропонованого блоку корекції виправдано і тим, що в системах керування кораблів присутні обмеження на максимальну величину керуючого впливу. Принцип роботи системи корекції досить повно викладено в роботі автора [ ].

Перехідну характеристику (крива 2) системи стабілізації з модернізованим цифровим ПІД-регулятором наведено на рис. 3.17.

Порівняння (рис.3.17) динаміки поведінки систем стабілізації з різними типами ПІД-регуляторів свідчить, що обидві системи звісно мають однакове

стале значення, їх швидкодія відповідає встановленим вимогам, але в системі 2 процес протікає без перерегулювання.

Узагальнюючи результати досліджень, зазначимо, що для дискретної (цифрової) системи стабілізації курсом корабля з точки зору якості процесів керування оптимальним є цифровий ПД-регулятор з пропонованою системою корекції.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ РЕГУЛЯТОРІВ

Повноцінне використання будь якого регулятора забезпечується тільки при правильному розрахунку його параметрів з урахуванням особливостей характеристик керованих об'єктів.

При проектуванні виникає необхідність корегування передатних коефіцієнтів регулятора, що вимагає як багаторазового запуску моделі при змінених коефіцієнтах регулятора, так й постійного редагування властивостей моделі. Звідси виникає необхідність мати механізм управління коефіцієнтами, який би забезпечував зручний інтерфейс між програмою і користувачем.

Вказані та інші труднощі проектування регуляторів можна подолати за допомогою графічного інтерфейсу користувача (GUI - Graphical User Interface), який входить до складу MATLAB для створення графічних додатків.

Робота в цьому середовищі досить проста: елементи управління - кнопки, списки, що розкриваються і т.д., розміщуються за допомогою миші, а потім програмується події, які виникають при зверненні користувача до даних елементів управління.

При вирішенні завдань користувачеві GUI не потрібно створювати повні М-файли. Часто він може навіть не знати всіх деталей автоматично відкритого в GUI М-файлу. Користувач GUI лише редагує його, доповнюючи функціями конкретно розв'язуваної задачі. Підкреслимо, що програми відкриваються і доповнюються тільки в М-файлі, а не набираються в командному вікні MatLab.

<i>КАФЕДРА АКІК</i>				<i>НАУ 22 88 05 000 ПЗ</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						
					<i>151</i>	<i>603</i>	

Додаток GUI може складатися як з одного основного вікна, так і декількох вікон і здійснювати виведення графічної і текстової інформації в основне вікно програми і в окремі вікна.

Ряд функцій MATLAB призначений для створення стандартних діалогових вікон відкриття і збереження файлу, друку, вибору шрифту, вікна для введення даних і ін.

Отже, використання графічного інтерфейсу MATLAB GUI дозволяє розробити універсальний додаток для проектування регуляторів систем стабілізації інерційних об'єктів і технологічних процесів.

#### **4.1 Опис вхідних та вихідних даних програми**

Середовище візуального програмування GUIDE (Graphical User Interface Design Environment) передбачає, в першу чергу, проектування графічного інтерфейсу користувача, а вже потім безпосереднє програмування.

Для створення конкретного додатку елементи GUI перетягуються з панелі інструментів у вікно цього додатку. Після додавання елемента інтерфейсу необхідно задати його тег (ім'я), який буде ідентифікувати даний об'єкт серед інших об'єктів.

В GUI додатку для налаштування регуляторів будуть розміщені:

- елемент інтерфейсу для виведення графіку перехідного процесу досліджуваної системи;
- три слайдера для встановлення числових значень коефіцієнтів регулятора  $K_1$  (П – складова),  $K_2$  – (І – складова) та  $K_3$  (Д – складова);
- шість елементів Edit Text для встановлення граничних значень цих коефіцієнтів (Max та Min);
- три текстових елементи Static Text для виведення поточних значень коефіцієнтів (Current);
- шість текстових елементів для відповідних надписів.



Граничні значення коефіцієнтів регулятора можуть бути встановлені експериментально. В роботі вони обрані з урахуванням отриманих значень в попередніх розділах.

Заготовка додатку з елементами інтерфейсу, що добавлені з панелі інструментів має вигляд, зображений на рис. 4.1.

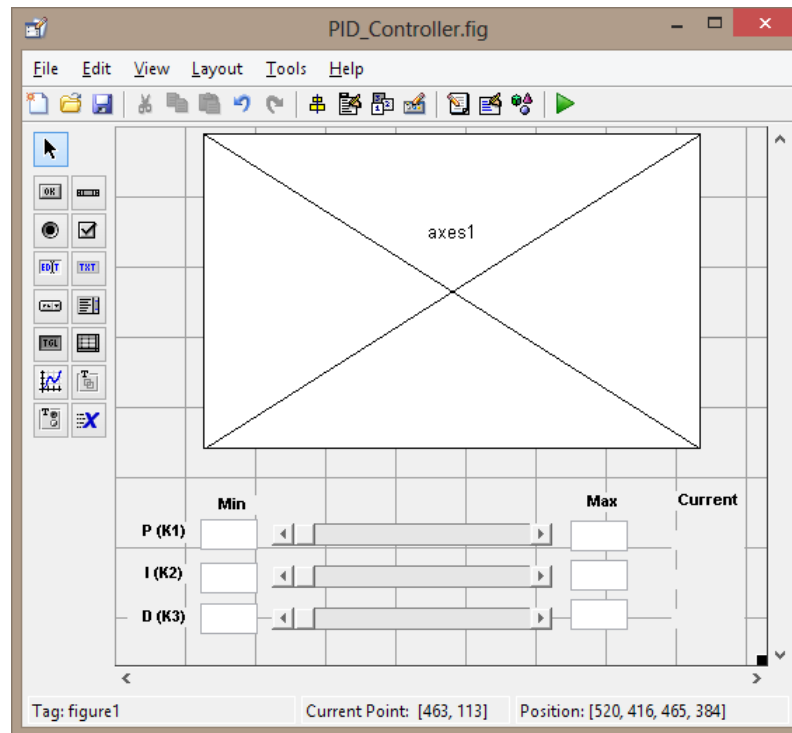


Рис.4.1 Вікно заготовки додатку GUI

Розроблений графічний інтерфейс готовий до програмування.

## 5.2 Лістинг програми

При збереженні графічного інтерфейсу MatLab автоматично сформував для нього програмний код. Тому, після ініціалізаційного блоку цього коду розміщується основна частина команд розв'язуваної задачі:

```
function mySliderCallback(hObject, eventdata, handles)

%отримання max та min складових регулятора
max1=str2double(get(handles.edit1, 'String'));
max2=str2double(get(handles.edit2, 'String'));
max3=str2double(get(handles.edit3, 'String'));
```

```

min1=str2double(get(handles.edit4, 'String'));
min2=str2double(get(handles.edit5, 'String'));
min3=str2double(get(handles.edit6, 'String'));

%отримання значень зі слайдерів
c1=get(handles.slider1, 'Value');
c2=get(handles.slider2, 'Value');
c3=get(handles.slider3, 'Value');

%визначення поточних значень коефіцієнтів складових регулятора
cur1=min1+(max1-min1)*c1;
cur2=min2+(max2-min2)*c2;
cur3=min3+(max3-min3)*c3;

%виведення поточних значень коефіцієнтів
set(handles.text7, 'String', cur1);
set(handles.text8, 'String', cur2);
set(handles.text9, 'String', cur3);

%перехідна характеристика
axes(handles.axes1);
cla;
hold on;
grid on

%присвоєння коефіцієнтів регулятора
K1=cur1;
K2=cur2;
K3=cur3;

%параметри системи
Wob=tf([30],[0.01 0.2 1 0]);%об'єкт
Wg=tf([0.09],[0.01 1]);%підсилювач
N=100;
Wp=tf([K1/N+K3 K1+K2/N K2],[1/N 1 0]);%регулятор

W1=series(Wg, Wob);
W=series(Wp,W1);%передатна функція розімкнутої системи
sys=feedback(W,1);%передатна функція замкнутої системи

t=5;
step(sys,t)
grid on
xlabel('t');
ylabel('h');

```

Утворений програмний код доповнюється функціями звернення до слайдерів:

```

function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
mySliderCallback(hObject, eventdata, handles);
function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
mySliderCallback(hObject, eventdata, handles);

function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
mySliderCallback(hObject, eventdata, handles);
```

Незалежно від кількості слайдерів і їх тегів, згадана вище функція має один і той же вигляд для кожного слайдера.

### 4.3 Опис інтерфейсу користувача

В результаті запуску описаного вище програмного коду відкривається діалогове вікно, що зображене на рис. 4.2.

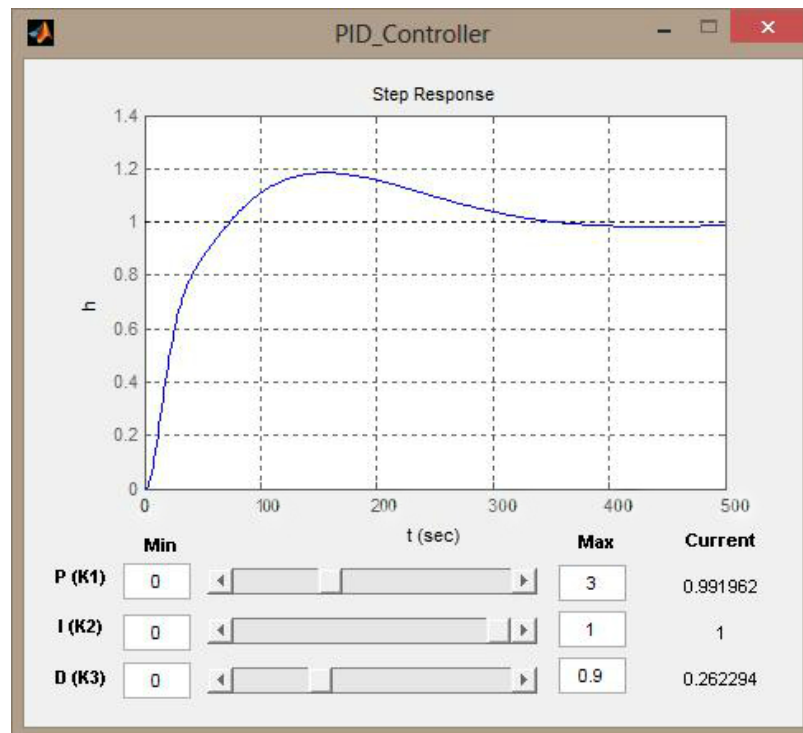


Рис.4.2 Діалогове вікно інтерфейсу

Розроблений інтерфейс дозволяє переміщенням в діалоговому вікні движків слайдерів визначити (по виду отриманих перехідних характеристик) коефіцієнти регуляторів будь-якого типу: П, І, Д, ПД, ПІ, ІД, чи ПІД.

На рис.4.3 як приклад надано перехідну функцію із встановленням слайдерів в положення, що відповідають оптимальним коефіцієнтам ПІД-регулятора, отриманим в попередніх розділах.

Видаливши в М-файлі програми команду очистки поточного графіку «cla», можна отримати сімейство перехідних характеристик для будь-якої

множини параметрів регулятора, що може бути зручним при виборі характеристики з бажаними показниками якості.

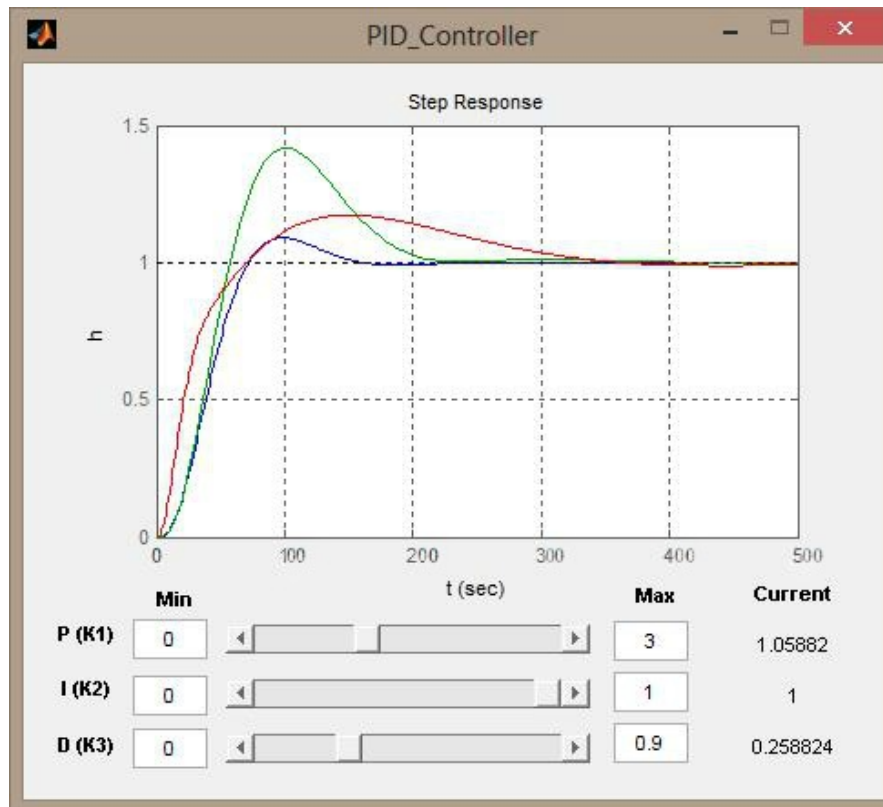


Рис.5.3 Приклад сімейства характеристик

Графіки в діалоговому вікні можна відредагувати, викликавши редактор властивостей (Property Editor). Він також дозволяє позначити на графіку перехідної функції основні показники якості: максимальне значення амплітуди, перерегулювання, усталене значення та час перехідного процесу.

Отже, розроблена програма налаштування коефіцієнтів регулятора в графічному інтерфейсі дозволяє оперативно розраховувати оптимальні коефіцієнти для будь-якого об'єкту та будь-якого типу регулятора, видаляючи та комбінуючи необхідні канали в ПД-регуляторі.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища – це регулювання відносин у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною.

Забруднення навколишнього середовища це дії, які привнесли в екологічну систему не властивих їй живих або неживих компонентів, фізичних або структурних змін, в результаті яких порушуються процеси круговороту і обміну речовин, а також відтоки енергії, унаслідок чого знижується продуктивність або руйнується дана екосистема.

Забруднюючі речовини зазвичай групуються по їх природі:

- фізичні забруднення, до них відносять: шумове забруднення і низькочастотна вібрація, електромагнітне забруднення, радіоактивні елементи;

- хімічні та біологічні забруднювачі, до них відносять: синтетичні органічні речовини, важкі метали, фтористі з'єднання;

- механічні, до них відносять: пил та тверді частки.

Для вирішення питань в галузі охорони навколишнього середовища займається наука – екологія. Екологія – це економіка природи й одночасне вивчення усіх взаємин живого з органічними і неорганічними компонентами середовища.

*КАФЕДРА АКІК*

*НАУ 22 88 05 000 ПЗ*

<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						
					<i>151</i>	<i>603</i>	

Основними задачами екології є всебічна діагностика стану природи, розробка прогнозів по зміні стану природного середовища, формування профілак-

-тичних заходів щодо охорони навколишнього середовища.

Темою моєї дипломної роботи є «Система автоматизованого проектування ПДД-регуляторів авіаційної автоматики. Система аналізу».

В цьому розділі будуть розглянуті питання щодо забруднення навколишнього середовища персональними комп'ютерами, та будуть запропоновані методи та заходи стосовно раціональної розробки використання та утилізації обладнання не завдаючи шкоду навколишньому середовищу.

### **5.1 Вплив об'єкту дослідження на навколишнє середовище**

За деякими даними дослідників ООН, щоб створити один середньостатистичний персональний комп'ютер, потрібно в 10 разів більше хімічних речовин і палива, ніж вага кінцевого продукту. Багато сировини, яка використовується в збірці комп'ютерів є токсичною. Викопне паливо лише посилює невирішену проблему глобального потепління. Відходи виробництва також не зникають, перетворюючись на звалища, або переробляються, надаючи поганий вплив на екологію. Багато користувачів і виробників помиляються, вважаючи, що зі зменшенням і удосконаленням комп'ютерів, їх негативний вплив на екологію зменшується. Тому вчені підкреслюють важливість вторинного використання обладнання. Перш ніж викинути «гаджет» в сміття, краще остаточно переконатися, що він не підлягає відновленню і тільки потім звертатися в конфігуратор комп'ютера. Можливо, він буде частково корисний в іншій збірці.

На даний момент найбільш суворим з існуючих світових стандартів екологічності для комп'ютерної техніки є стандарт ТСО99. У порівнянні з

попередніми він містить додаткові обмеження по частині екології, ергономіки, енергоспоживання і емісії пристроїв.

Найбільш значимі ярлики, такі як «Блакитний ангел», що видається Німецькою сертифікаційною організацією як знак відповідності екологічним стандартам, є великою рідкістю в сфері електроніки. Навпаки, широке поширення отримав логотип «Energy Star», якого удостоюються енергозберігаючі пристрої. Однак у випадку з ним проблема полягає в тому, що кожен виробник має право самостійно маркувати свою продукцію, не проходячи при цьому перевірок.

З огляду на те що дана емблема не несе ніяких відомостей про дійсне енергоспоживання пристроїв, її цілком можна ігнорувати.

Організація по захисту навколишнього середовища Greenpeace з 2006 року оцінює виробників електроніки за кількістю важких металів і отруйних речовин, наприклад інгібіторів горіння, використовуваних ними при виробництві (інгібітор - речовина, присутність якого в невеликих кількостях призводить до запобігання або уповільнення процесів горіння або корозії; інгібітори знижують швидкість хімічних реакцій або пригнічують їх). Однак навіть оцінки такої організації, як Greenpeace, які не можуть претендувати на об'єктивність. Адже в одних випадках вона використовує перевірену інформацію, що стосується, наприклад, заходів щодо утилізації відходів, а в інших спирається тільки на дані виробника. А якщо компанія не повідомляє ніяких відомостей, то автоматично опиняється на нижніх рядках рейтингу. Крім того, енергетичні витрати на виробництво і перевезення продукції також необхідно враховувати при оцінці екологічної ефективності. Адже часи, коли техніка виготовлялася тільки на одному заводі, давно пройшли. Сьогодні окремі комплектуючі закуповуються на різних підприємствах по всьому світу, після чого здійснюється складання пристроїв. Тому найчастіше навіть самі компанії не можуть знати, які шкідливі речовини потрапляють в атмосферу при виготовленні їх продукції і які саме метали або токсини в ній містяться. ЖК-екрани - один з джерел парникових газів, які набагато

шкідливіше діоксиду вуглецю. Рідкокристалічні монітори швидко знайшли популярність, прийшовши на зміну громіздким ЕПТ-моделями. І це не дивно, адже вони мають тонкими корпусами і споживають значно менше електроенергії. За іншим аспектам екологічної безпеки дисплеї на основі рідких кристалів також вважалися проривом, тому що в них не використовувався газ, що містить свинець. Досить довго ніхто не звертав уваги на застосовуваний для чищення РК-панелей трьохфтористий азот (NF<sub>3</sub>), і тільки в середині 2008 року вченими було доведено наявність даного хімічної речовини в атмосфері. Відкриття було вражаючим: по порівняно з діоксидом вуглецю (CO<sub>2</sub>) NF<sub>3</sub> є в 17 000 разів більше активним парниковим газом, а його атмосферний час напіврозпаду може складати від 550 до 740 світлових років (у CO<sub>2</sub> - від 30 до 40 років). Закону, який обмежував би рівень викиду NF<sub>3</sub>, поки не існує. Виявлення енерговитрат є таким же проблематичним процесом, як і визначення кількості матеріалів, придатних для вторинної переробки, і важких металів, що містяться в пристроях. Дивовижний результат був отриманий організацією Greenpeace в ході порівняльного аналізу декількох моделей ідентичних ноутбуків з різних країн. В тачпаді Dell Vostro V13, доступного на китайському ринку, були виявлені сліди бромю. В моделі з Німеччини ця речовина теж присутня, тільки не в тачпаді, а кнопках. У лептопі, купленому в США, бром був знайдений в блоці живлення.

Схожа картина спостерігається і у інших виробників: при дослідженні продукції компанії Apple експерти виявили, що в кабелі ноутбука MacBook Pro 13 з США і Нідерландів міститься в три рази більше бромю, ніж в пристроях з Філіппін і Росії. При аналізі іншого кабелю сліди бромю виявили вже в пристроях з Росії та Нідерландів, а в моделі з США їх не було. Таким чином, надійним показником екологічності залишається тільки рівень енергоспоживання - серед субноутбуків першість належить лише декільком моделям, а решта різко відрізняються від лідерів за своїми характеристиками.

Видобувні виробництва руйнують поверхню Землі і часто забруднюють



навколишнє повітря і воду. Видобуток рідкоземельних мінералів неможлива або нерентабельна без використання процесів, які завдають серйозної шкоди навколишньому середовищу. Полівінілхлорид, що позначається зазвичай аббревіатурою ПВХ, - це різновид пластику, що застосовується в самих різних цілях. З нього зроблена зовнішня оболонка кабелів, якими з'єднуються пристрої, він оточує електричний провід портативного комп'ютера. ПВХ присутній в музичній колекції любителів вінілових платівок. З нього роблять труби і одяг. Це дешевий, міцний і вельми поширений матеріал.

Разом з тим, за словами IT-аналітика «Грінпіс» Кейсі Харрелл, «ПВХ - найгірший з пластиків ». Він є причиною виникнення гормонального дисбалансу, проблем в репродуктивній сфері та різних форм раку. Полівінілхлорид практично неможливо правильно утилізувати. Внаслідок старий матеріал виявляється зазвичай на звалищі з відходами або, того гірше, спалюється з метою вилучення мідних жил і інших цінних компонентів. При його згорянні утворюється вкрай шкідливий канцерогенний діоксин. Звалища і хімічні поховання забруднюють джерела води. Єдиний спосіб правильно утилізувати ПВХ полягає в тому, щоб відправити його в центр небезпечних відходів.

Тривала робота комп'ютерів приводить до зниження концентрації кисню в повітрі, кількість озону, навпаки, збільшується. Озон є сильним окислювачем. Його концентрація вище гранично допустимих величин приводить до несприятливих обмінних реакцій організму. Великий вплив монітори роблять на іонний склад повітря робочої зони. Зміна цього балансу, що обумовлений збільшенням кількості позитивних іонів, приводить до негативних наслідків. Установлено, що фоновий спектр іонів у приміщеннях з моніторами характеризується надлишком негативних іонів. У процесі роботи терміналу структура спектра іонного складу повітря робочої зони істотно змінюється. Протягом 5 хв роботи монітора концентрація легких негативних іонів зменшувалася в 8 разів, а через 3 години — знизилася до рівня, близького до нуля. Істотно понизилася кількість середніх і важких негативних

часточок. У той же час концентрація позитивних іонів зростає, і через 3 год. роботи монітора в повітрі робочої зони переважають позитивні часточки. Необхідно відзначити, що й у геопатогенних зонах прилади також реєструють різке зменшення негативно заряджених іонів кисню, що підкреслює факт однакової фізичної природи торсіонних полів зон Землі і торсіонних полів, які генеруються моніторами, телевізорами й іншою електронною технікою.

Персональні комп'ютери, ноутбуки та інша інформаційна техніка, як відомо широко використовується в галузі наукових досліджень, промисловості, а також у повсякденному домашньому користуванні. Але будь-яка техніка стрімко старіє, їй на зміну приходять нові, більш потужні, більш сучасні ПК та оргтехніка. Поступово виникає проблема, що робити зі старою технікою, морально застарілою або з тих чи інших причин, що вийшла з ладу, яка заважає підсобні приміщення та склади.

Утилізація комп'ютерів це процес, який проводиться в кілька етапів. Найперша дію це списання обладнання безпосередньо з підприємства. Етап другий це розбір техніки і сортування отриманих матеріалів. Якщо деталі здатні служити вихідною сировиною, наприклад, кінескоп, деталі, в складі яких є дорогоцінні метали, то їх відправляють на очищення а потім на повторну експлуатацію.

## **5.2 Розрахунок впливу об'єкту дослідження на навколишнє середовище**

На даний момент вважається, що на весь ІТ-сектор приходить близько 2 % шкідливих викидів у світовому масштабі. Це значна цифра, особливо, якщо врахувати, що даний сектор розвивається і збільшується з великою швидкістю.

На думку дослідників з ООН, настав час для прийняття скоординованих міжнародних кроків для зменшення шкоди навколишньому природному середовищу, що наноситься комп'ютерним обладнанням. За їхніми даними, при створенні одного середньостатистичного персонального комп'ютера

загальна вага різних хімікатів і викопного палива в 10 разів перевищує вагу кінцевого продукту. Причому багато хто з цих хімікатів токсичні, а застосування викопного палива погіршує процес глобального потепління. Ці відходи потім або викидаються на величезні звалища, або переробляються, найчастіше в погано відповідних умовах в країнах, що розвиваються, що створює істотну загрозу здоров'ю.

Не можна не відзначити неймовірну енергоефективність нових пристроїв. Якщо розглянути для прикладу товари торгової лінійки Mac Book, компанії Apple Inc., що вважаються одними із самих екологічних в індустрії, то можна виявити просто неможливо раніше низьке використання електроенергії.

Навіть самі неефективні з цих продуктів втричі перевищують вимоги суворих стандартів енергоспоживання Energy Star 6.0, які складають 25 кВт/год на рік для ноутбука. Якщо перерахувати на вати, то вийде, що Mac Book споживає менше 1 вата енергії в годину – в сто разів менше звичайної 100 Вт лампочки розжарювання. Втім, не все так просто. 75 % всієї енергії (яка використовується під час всього життєвого циклу пристрою) йде на виробництво Mac Book, а не на його експлуатацію. Саме енергію, що витрачається при використанні приладу, враховує стандарт Energy Star. А вона становить всього 19 %. Решта – переробка і транспортування.

У звіті тієї ж компанії Apple сказано, що, наприклад, 15-ти дюймовий Mac Book Pro з ретина-дисплеєм за час свого життя викидає в атмосферу 690 кг вуглекислого газу. По суті, це те ж саме енергоспоживання, виражене в кілограмах CO<sub>2</sub>. За допомогою простого коефіцієнта ці кілограми можна перевести в кіловат-години електроенергії, виробленої на електростанції. Такі коефіцієнти розраховуються спеціальними організаціями по міжнародно схваленим протоколам, таким, наприклад, як Green house Gas Protocol, і широко використовуються бізнесом для розрахунку впливу їх виробництв на екологію.

Зрозуміло, що для різних джерел енергії та різних країн коефіцієнти

виявляються різними. Наприклад, в Америці при отриманні кіловат-години енергії виробляється близько півкілограма вуглекислого газу. У Китаї, де знаходиться велика частина заводів з виробництва електроніки, коефіцієнт виявляється близько 0,87 кг/кВт/год. У світі ж «середня температура по лікарні» виявляється близько 0,44 кг CO<sub>2</sub> на кВт/год.

Якщо перерахувати 690 кг CO<sub>2</sub> в кіловат-години за цими коефіцієнтами, навіть використовуючи консервативні китайські коефіцієнти, ми отримаємо 800 кВт/год. Це 200 кВт/год на рік, майже в 10 разів більше, ніж нормативи стандарту Energy Star. Це може спочатку здивувати, але достатньо розглянути тонкощі виробництва процесорів, які являються одними з найбільш шкідливих при виробництві комп'ютерних комплектуючих. Виробництво мікросхем з субмікронними розмірами елементів – один з найскладніших процесів в сучасній промисловості. Ця технологія увібрала безліч фізико-хімічних процесів і вимагає нанометрової точності, яка досяжна тільки при абсолютній стерильності виробничого приміщення. У цеху, де йде робота, дотримується так звана «електронна гігієна»: в робочій зоні обробки напівпровідникових пластин і на операціях вирощування кристала в літрі повітря не повинно бути більше п'яти пилинок розміром 0,5 мкм. Для порівняння, стандарти чистоти хірургічних операційних допускають вміст у тисячі разів більшої кількості пилу. Чіп – це не просто кремнієва пластинка, а складна багат шарова напівпровідникова конструкція, зведена на кремнієвій підкладці. Виробництво чіпів складається більш ніж з трьох сотень операцій, і один виробничий цикл може тривати до декількох тижнів. Практично на кожній стадії використовуються шкідливі хімікати, надточне обладнання та енерговитратні фізичні методи, такі як променеве травлення та іонна імплантація. Причому ці операції повторюються для кожного з пари десятків шарів, що складають процесор. Плюс витрати енергії на надпотужну систему вентиляції і фільтрації, що забезпечує стерильність.

Тому не дивно, що маса палива, необхідного для виробництва одного процесора, в тисячі разів більше маси самого чіпа (всього пара грамів).

Загальні витрати енергії в сотні тисяч разів більше, ніж на звичайному виробництві, скажімо, пластика або металу, з яких в подальшому роблять корпуси комп'ютерів.

На сьогодні вважається, що для виробництва процесора вагою 2 грами потрібно 1,6 кг палива, 72 г хімічних реактивів і 32 кг води.

### **5.3 Шляхи покращення ситуації, рекомендації та заходи по зменшенню впливу**

До складу комп'ютера входить безліч металів таких як золото, срібло, алюміній, мідь та інших. Успіху в утилізації персональних комп'ютерів можна досягнути завдяки вторинній переробці.

Переробка комп'ютерів, електронна переробка — утилізація комп'ютерів та будь-яких інших електронних пристроїв. Це повна деконструкція електронних пристроїв для того, щоб скоротити витрати сировини та зберегти якомога більше матеріалів зі старої та зламаной техніки.

У 2009 році, 38 % комп'ютерів і 25 % від загального обсягу електронних відходів було перероблено в Сполучених Штатах Америки, в порівнянні з 2006 роком відповідно 5 % і 3 %. З моменту свого створення на початку 1990-х років, все більше і більше пристроїв переробляються в усьому світі за рахунок збільшення рівня інформованості та інвестицій. В основному електронна обробка відбувається для того, щоб відновити цінні рідкісноземельні і дорогоцінні метали, які знаходяться в дефіциті, а також пластмаси. Вони будуть перепродані або використані в нових пристроях після очищення, в результаті створюючи економіку замкненого циклу.

Переробка є екологічно чистою, оскільки вона запобігає потраплянню небезпечних відходів, у тому числі важких металів і канцерогенів, в атмосферу або водойми, а також утворенню звалищ. Хоча електроніка складає

невелику частку від загального обсягу утворених відходів, вона набагато небезпечніша. Є суворі закони, спрямовані на дотримання і заохочення утилізації побутової техніки, найбільш впливовими з яких є Директива Електронних Відходів та Електронного Обладнання Європейського Союзу і Акт Національної Утилізації Комп'ютерів Сполучених Штатів.

Застарілі комп'ютери та стара електроніка є цінним джерелом для вторинної сировини при переробці, з іншого боку вони є джерелом токсинів та канцерогенів.

Швидкий розвиток технології, низька початкова вартість та передбачене старіння призвели до швидко зростаючого профіциту комп'ютерів та інших електронних компонентів по всьому світу. Технічні рішення доступні, але в більшості випадків перед застосуванням технічного рішення необхідно здійснити нормативно-правові основи, системи зборів, логістики, а також інші послуги. За оцінками Управління з охорони навколишнього середовища США, від 30 до 40 мільйонів залишків ПК класифікуються як «небезпечні побутові відходи». Рада національної безпеки вважає, що 75% всіх персональних комп'ютерів, проданих колись, тепер є електронним сміттям.

У 2007 Управління з охорони навколишнього середовища США заявило, що понад 63 мільйони комп'ютерів в США задля заміни були продані або викинуті. Сьогодні 15 % електронних пристроїв та устаткувань перероблюються в Сполучених Штатах. Більшість електронних відходів направляється на звалище або сміттєспалювальний завод, який випускає шкідливі елементи, такі як свинець, ртуть та кадмій в ґрунт, тим самим негативно впливаючи на навколишнє середовище.

Багато матеріалів, що використовуються в комп'ютерних пристроях, можуть бути відновлені для використання в майбутньому виробництві. Повторне використання олова, кремнію, заліза, які в достатній кількості присутні в комп'ютерах або інших електронних пристроях, може зменшити витрати на будівництво нових систем. Компоненти часто містять свинець, мідь, золото та інші цінні матеріали, придатні для утилізації.

Комп'ютерні компоненти містять багато токсичних сполук, таких як діоксини, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), кадмій, хром, радіоактивні ізотопи і ртуть. А звичайний монітор комп'ютера може містити понад 6 % свинцю, велика частина якого в свинцевому склі з електронно-променевою трубкою (ЕПТ). А стандартні 15-дюймові (38 см) монітори комп'ютера можуть містити 1 кілограм (1.5 фунти) свинцю, але інші монітори можуть мати до 4 кілограм (8 фунтів) свинцю. Друковані плати містять значні кількості свинцю та олова, припої, яких, швидше за все, потрапляють в ґрунтові води. Переробка (наприклад, спалювання та кислотні обробки) повинні зберегти ці дорогоцінні сполуки, але можуть створити або синтезувати отруйні побічні речовини.

Експорт відходів у країни з більш низькими екологічними стандартами є основною проблемою. Базельська конвенція включає небезпечні відходи, але не регулює обмеження по кількості, такі як ЕПТ екрани, які не можуть бути експортовані трансконтинентально без попередньої згоди обох країн експорту на отримання відходів. Компанії можуть знайти її економічно ефективною в короткостроковій перспективі, щоб продати застарілі комп'ютери для менш розвинених країн з не суворими правилами. Вважається, що більшість надлишків ноутбуків направляються до країн, що розвиваються, під виглядом «звалища електронних відходів». Висока вартість роботи та багаторазове використання ноутбуків, комп'ютерів та комплектуючих (наприклад, оперативної пам'яті) може допомогти оплатити вартість транспортування багатьох непотрібних «товарів».

Методи переробки:

- Утилізація споживачами. Варіанти утилізація споживачами складаються з продажу, пожертвуванню комп'ютерів безпосередньо організаціям, відправленню пристроїв безпосередньо до їх виробників або отриманню комплектуючих для відновлення або переробки.

- Корпоративна утилізація. Підприємства шукають економічно ефективні способи для переробки великої кількості комп'ютерної техніки, але стикаються з більш складними технологічними процесами. Підприємства

також розглядають варіанти продажу або встановлення зв'язку з Виробниками Оригінального Устаткування (VOU) і організаціями з утилізації. Деякі компанії забирають непотрібне обладнання інших підприємств, стирають дані з систем і дають оцінку залишкової вартості продукту. Для пристроїв, які мають цінність, фірми купують запчастини, ремонтують і продають відновлені продукти тим, хто шукає більш дешеві варіанти, ніж покупка нових.

- Продаж. Інтернет-аукціони є альтернативою для споживачів, які бажають перепродати товар за готівку, з врахуванням комісії, не ризикуючи додатковими витратами, адже товар за платним оголошенням може і не продатися. Інтернет оголошення можуть бути ризикованими через шахрайство, підробку документів та мінливість користувачів.

Одне з нововведень для утилізації друкованих плат придумали Співробітники з Національної фізичної лабораторії Великобританії, продемонстрували можливість спеціального розчину який розчинюють у гарячій воді. Дія якого зумовлює відшарування електронних компонентів.

Таким чином 90% компонентів нових друкованих плат можна використовувати знову, тоді як у випадку звичайним методам - тільки 2%.

Практично жодне підприємство не зможе самостійно утилізувати комп'ютери та оргтехніку, так як цей процес вимагає сучасного обладнання та специфічних знань. Тому довірити таку роботу можна тільки професіоналам, які мають великий досвід у даній сфері.

Проблема утилізації використаних комп'ютерів, периферійного обладнання, стає гострішою з кожним роком. Обсяги виробництва продуктів інформаційно-телекомунікаційних технологій та частота їх заміни на нові моделі примушують компанії замислюватись над проблемою біодеградації. Дослідники вважають, що необхідно дати більше стимулів як виробникам комп'ютерів, так і користувачам, щоб вони удосконалили і повторно використовували своє обладнання, а не викидали його. Успіхи в цій галузі допоможуть, серед іншого, компаніям-виробникам зменшити податки, котрі вони сплачують зараз за утилізацію застарілих моделей. Останнє тим більше



важливо, оскільки робить екологізацію економічно вигідною, тож спрямовує у цю сферу дедалі більше зусиль дослідників та довгострокових капіталовкладень. Таким чином, подальше поширення інформаційних технологій не збільшить, а навпаки – зменшить техногенне навантаження на довкілля.

### **Висновки**

Питання захисту навколишнього середовища в процесі виробництва комп'ютерів виникли давно і регламентуються зараз. В останні роки в усьому світі з'явилися численні нормативні акти і стандарти (міжнародні NPR чи TCO95, TCO 99), призначені зменшити негативні впливи.

Наприклад, стандартом TCO-95 NUTEK контролюються викиди токсичних речовин, умови роботи й ін. Згідно TCO-95 вироблене устаткування може бути сертифіковане лише в тому випадку, якщо не тільки контрольовані параметри самого устаткування відповідають вимогам цього стандарту, але і технологія виробництва цього устаткування відповідає вимогам стандарту.

Виробник комп'ютера в наші дні звичайно рекламує свій товар як задовольняючим декільком екологічним вимогам. Наприклад:

- мале споживання електроенергії;
- екологічно чисте виробництво;
- не використання фреону, який руйнує озоновий шар Землі;
- виготовлення тари, документації й упакування з матеріалів вторинної обробки, і т.д.

Часто виробник називає такий комп'ютер "зеленим" ("Green PC"), хоча єдиного стандарту "зеленого" комп'ютера поки немає. Покупець, якщо він зацікавлений збереженням власного здоров'я і здоров'я планети, повинний у процесі покупки цікавитися не тільки функціональними, але й екологічними характеристиками комп'ютера, що купується.

Комп'ютерні технології, будучи великим досягненням людства, можуть мати негативні наслідки для навколишнього світу. Технічний рівень сучасних моніторів не дозволяє цілком виключити існування шкідливих впливів, однак

цей вплив необхідно мінімізувати, регламентувавши ряд параметрів. Для зниження збитку необхідне дотримання установлених вимог і норм. Основна мета їхнього впровадження – захист тваринного і рослинного світу від пагубного впливу комп'ютерної й іншої електронної техніки.

Організація «Грінпіс» уважно стежить за тим, як великі компанії відносяться до захисту навколишнього середовища, і регулярно публікує звіт Greenpeace Guide to Greener Electronics, в якому виробникам (HP, Sony, Toshiba і ін.) присвоюються рейтинги в трьох основних категоріях: раціональність операцій, енергія і клімат, екологічно чисті продукти. Можна зробити висновок, що залишається лише сподіватися, що настане час, коли технології будуть допомагати людині, не завдаючи незворотної шкоди здоров'ю навколишнього середовища.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Управління охороною праці здійснює цілеспрямовану дію на систему «людина-виробництво», що являє собою всю сукупність елементів з якими людина взаємодіє в процесі праці і які можуть чинити на неї відповідний вплив. Питання охорони праці регулюються Кодексом законів про працю України, «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», а також рядом постанов Кабінету Міністрів України. Одним із найважливіших нормативно-правових актів про охорону праці є Закон «Про охорону праці».

Основною задачею даної дипломної роботи є удосконалення методу нулів і полюсів для оцінки якості ПІД-регуляторів авіаційної автоматики при їх проектуванні з застосуванням пакету прикладних програм.

Отже, розглянутий у дипломній роботі об'єкт потребує, використання персональної електронно-обчислювальної машини (ПЕОМ), які, в свою чергу, являють собою складні електронні пристрої, що характеризуються наявністю визначених небезпечних джерел впливу на проектувальника та середовище в якому він перебуває.

#### 6.1 Аналіз умов праці з електронно-обчислювальними машинами

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи згідно з діючим класифікатором професій (ДК – 003 - 95 і Зміна N 1 до ДК - 003 - 95):

- розробники програм (інженери-програмісти) - виконують роботу переважно з відеотерміналом та документацією при необхідності і інтенсивного обміну інформацією з ЕОМ і високою частиною прийняття рішень. Робота

<i>КАФЕДРА АКІК</i>				<i>НАУ 22 88 05 000 ПЗ</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Жмурчик Т.П.</i>			Система автоматизованого проектування цифрових регуляторів динамічних об'єктів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Аблесімов О.К.</i>						
<i>Консульт.</i>					<i>151                      603</i>		
<i>Н.контр.</i>	<i>Тупіцин М.Ф.</i>						
<i>Зав.кафедри</i>	<i>Синеглазов В.М.</i>						

-  
характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним напруженням зору, концентрацією уваги на фоні нервово-емоційного напруження, вимушеною робочою позою, загальною гіподинамією, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Робота виконується в режимі діалогу з ЕОМ у вільному темпі з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу;

- оператори електронно-обчислювальних машин - виконують роботу яка пов'язана з обліком інформації одержаної з ВДТ за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується як робота з напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі;

- оператор комп'ютерного набору - виконує одноманітні за характером роботи з документацією та клавіатурою і нечастими нетривалими переключеннями погляду на екран дисплея, з введенням даних з високою швидкістю, робота характеризується як фізична праця з підвищеним навантаженням на кисті верхніх кінцівок на фоні загальної гіподинамії з напруженням зору (фіксація зору переважно на документи), нервово-емоційним напруженням.

Встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ при 8-годинній денній робочій зміні в залежності від характеру праці:

- для розробників програм із застосуванням ЕОМ, слід призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ;

- для операторів із застосування ЕОМ, слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години;

- для операторів комп'ютерного набору слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожною години роботи за ВДТ.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожен годину тривалістю 15 хвилин.

З метою зменшення негативного впливу монотонності є доцільним застосовувати чергування операцій усвідомленого тексту і числових даних (зміна змісту роботи). Чередування вводу даних та редагування текстів.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатору, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми доцільні деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, наведених в додатку 8.

В окремих випадках - при хронічних скаргах працюючих з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ на зорове втомлення незважаючи на дотримання санітарно-гігієнічних вимог до режимів праці і відпочинку, а також застосування засобів локального захисту очей – допускаються індивідуальних підхід до обмеження часу робіт з ВДТ, зміни характеру праці, чергування з іншими видами діяльності, не пов'язаними з ВДТ.

Активний відпочинок має полягати у виконанні комплексу гімнастичних вправ, спрямованих на зняття нервового напруження, м'язове розслаблення, відновлення функцій фізіологічних систем, що порушуються протягом трудового процесу, зняття втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу і працездатності.

За умови високого рівня напруженості робіт з ВДТ показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв або в кінці робочого дня.

## 6.2 Перелік шкідливих на небезпечних виробничих чинників

Під виробничим середовищем мається на увазі сукупність фізичних, хімічних, біологічних, психофізіологічних факторів на виробництві, які впливають на людину. Всі ці фактори класифікуються як небезпечні та шкідливі.

Небезпечні виробничі фактори - ті, вплив яких на працівника призводить до травм, різкого погіршення здоров'я або до смерті.

Шкідливі виробничі фактори - ті, вплив яких на працівника може призвести до захворювання та зниження працездатності.

Працівники, задіяні на роботах, пов'язаних з періодичною або постійною роботою за комп'ютером, піддаються впливу факторів виробничої безпеки, основними з яких є:

### *Фізичні:*

- підвищений рівень напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може пройти через тіло працюючого;
- підвищений рівень рентгенівського випромінювання;
- підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання;
- підвищений рівень інфрачервоного випромінювання;
- можливість ураження статичною електрикою;
- запиленість повітря робочого приміщення;
- підвищений вміст важких (+) аероіонів;
- нерівномірний розподіл яскравості в полі зору;
- підвищений рівень пульсації світлового потоку.

### *Хімічні:*

- Підвищений вміст у повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду та ін.

*Психофізіологічні:*

- напруга зору;
- напруга пам'яті;
- напруга уваги;
- тривале статичне напруження;
- відносно великий обсяг інформації, що обробляється в одиницю часу;
- монотонність праці в окремих випадках;
- нераціональна організація робочого місця.

При роботі з ПК людина може піддатися впливу всіх шкідливих та небезпечних факторів. Шкідливі і небезпечні чинники, з якими стикається проектувальник при роботі з ПК, приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Перелік шкідливих та небезпечних виробничих факторів

<b>Найменування факторів</b>	<b>Можливі джерела їх виникнення</b>	<b>Характер дії</b>
Небезпека ураження електричним струмом	Мережа живлення	Небезпечний
Пожежонебезпечність приміщень	Наявність матеріалів що можуть загорітися і джерел запалення (електроапаратура)	Небезпечний та шкідливий
Електромагнітне випромінювання в тому числі і рентгенівське	ЕПТ (дисплей є джерелом рентгенівського, радіочастотного, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювань та випромінювання звукового діапазону)	Шкідливий
Статична електрика	ЕПТ монітору та діелектрична поверхня екрану	Шкідливий
Іонізація повітря	Статична електрика та рентгенівське випромінювання	Шкідливий
Підвищений рівень шуму	Шум створюється перетворювачем напруги ЕОМ, її технічною периферією, а також людьми, що працюють в аудиторії	Шкідливий
Несприятлива	Недостатнє штучне та природнє	Шкідливий

освітленість	освітлення	
Незадовільні параметри мікроклімату	Незадовільний стан систем вентиляції та опалення	Шкідливий
Психофізіологічні напруження	Монотонність праці, перенапруженість зорових аналізаторів, розумова напруженість, незручність і статичні пози	Шкідливий

Комп'ютери і телефонні апарати також є основними джерелами шуму у приміщеннях. Рівень шуму в приміщенні повинен відповідати оптимальному рівню згідно з ДСН 3.3.6.037-99.

### **6.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці на суб'єкта**

До основних шкідливих факторів при роботі з комп'ютером відносять: тривале сидяче положення, електромагнітне випромінювання, навантаження на зір, перевантаження кистьових суглобів, можливість захворювань органів дихання, алергії, порушення нормального перебігу вагітності та ін. Тривале сидяче положення приводить до напруги м'язів шиї, голови, рук і плечей, остеохондрозу, у дітей - ще й до сколіозу. Тривале сидяче положення ще приводить до застою крові в тазових органах і, як наслідок, до простатиту й геморою. Не секрет, що малорухливий спосіб життя призводить до ожиріння. Навантаження на зір. Людське око реагує на найдрібнішу вібрацію тексту і на мерехтіння екрану. М'язи ока, керуючі кришталиком, перебувають у постійній нарузі, що обов'язково призводить до втрати гостроти зору. Тривала робота за комп'ютером - це величезне навантаження на очі, оскільки зображення на моніторі складається не з безперервних ліній, як на папері, а з окремих точок, які світяться і мерехтять. У користувача неминуче погіршується зір, очі починають слізотися, з'являється головний біль, втома, зображення двоїться і спотворюється.

До хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на



токсичні, дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні та мутагенні. Ці хімічні речовини впливають на репродуктивну функцію людини. За шляхами проникнення в організм людини вони поділяються на проникаючі через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірний покрив і слизові оболонки.

До біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, грибки, найпростіші) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини і тварини).

До психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться фізичні (статичні і динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Для того, щоб об'єктивно проаналізувати відповідність умов праці діючим нормативно-правовим актам, необхідно здійснити санітарно-гігієнічну характеристику умов праці, атестацію робочого місця за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робота за комп'ютером і стреси. Стрес - це емоційні переживання, внутрішнє напруження, викликані подіями в житті. Стрес виникає, в першу чергу, при втраті або пошкодженні інформації. Причини: відсутність резервних копій, комп'ютерні віруси, поломки жорстких дисків, робочі помилки. Робота за комп'ютером є одним з факторів, що викликають стрес (стресором). Реакція організму на стрес являє собою запуск біохімічних процесів, які спрямовані на придушення екстремальній ситуації. Захворювання органів дихання при роботі з комп'ютером у даному контексті носять в основному алергічний характер. Це пояснюється тим, що за час довгої роботи комп'ютера корпус і плати останнього виділяють в повітря ряд шкідливих речовин, а так само комп'ютер створює навколо себе електростатичне поле, яке притягує пил, який осідає в легенях. Також

комп'ютер деіонізує навколишнє середовище і зменшує вологість повітря. Комп'ютер є досить серйозним джерелом низки алергенів. Приміром, корпус монітора, нагріваючись до 50-55 ° С починає виділяти в повітря пари трифенілфосфата. Крім монітора нагрівається і материнська плата, блок живлення, процесор, відеокарта, які так само можуть виділяти в навколишнє середовище шкідливі органічні та неорганічні речовини (фтор-, хлор-, фосфоровмісні). Крім того, в комп'ютері є дуже багато місць, де накопичується пил і бруд, розмножуються мікроби і грибки. Пил отримує від екрану монітора слабкий статичний заряд, якого вистачає, щоб пил осідав на тілі користувача і в його дихальних шляхах.

#### **6.4 Розробка заходів з охорони праці**

На підставі ДНАОП 5.2.30-1.08-96 і ВСН 4559-88 "Тимчасові санітарні норми і правила для працівників обчислювальних центрів":

- до роботи на персональних ЕОМ допускаються особи від 18 років, що не мають протипоказань за результатами попереднього медичного огляду і пройшли інструктаж, навчання й перевірку знань по охороні праці і мають 1 кваліфікаційну групу з електробезпеки;

- допуск до роботи на персональних ЕОМ осіб до 18 років (практикантів, учнів) здійснюється під керівництвом досвідчених працівників, що мають кваліфікаційну групу по електробезпеці не нижче 3.

Для зниження й попередження шкідливого впливу вищевказаних факторів рекомендується:

- для зниження рівня статичної електрики розташовувати екран дисплея на відстані не ближче 550 - 700 мм. від очей користувача;

- для зниження бліків екран дисплея повинен розташовуватися перпендикулярно світлового потоку від віконних прорізів або від електросвітильників;

Для зниження втоми очей:

- освітленість робочого місця повинна бути не менш 300 - 500 люкс;
- яскравість світіння екрана - не менш 100 кл / кв. м.;
- мінімальний розмір світної точки - не більш 0,6 мм.;
- контрастність зображення знака - не менш 0,8;
- частота регенерації - не менш 72 Гц.

Для зниження впливу гіподинамії й емоційних перевантажень варто використовувати технологічні перерви і виконувати комплекс фізичних вправ.

Для безпеки перед початком роботи:

- залишити в гардеробі вуличний одяг, особисті речі;
- забрати з робочого місця предмети, що не будуть використовуватися в роботі;

- забороняється класти на блоки ЕОМ папір, книги, документи й інші предмети;

- забороняється, щоб уникнути перевантаження мережі, підключати ЕОМ через трійники разом з іншими електроприладами;

- включити, при необхідності, штучне освітлення, настільний світильник;

- зовнішнім оглядом переконатися в справності сполучних проводів, штепсельних рознімачів, шин заземлення й вимикачів, у надійності кріплення захисних кожухів і кришок блоків ЕОМ;

- перевірити відсутність пилу на екрані дисплея. Не допускати забивання пилом і сторонніми предметами вентиляційних отворів для відводу тепла з блоків ЕОМ;

- відрегулювати висоту сидіння стільця й підставки для ніг. Відрегулювати положення екрана монітора щодо свого поля зору;

- при виявленні несправностей і інших недоліків, що створюють небезпеку або значні незручності в роботі, заявити про це керівникові відділу, ділянки.

Для безпеки під час роботи:

- при включенні персональної ЕОМ і освітлення в електромережу, братися тільки за ізольовані частини штепсельних колодок;

- дотримувати зазначену в інструкції з експлуатації послідовність включення блоків ЕОМ;

- щоб уникнути розрядів статичної електрики, забороняється доторкатися до екрана дисплея;

- при введенні даних, редагуванні програм, читанні інформації з екрана, безперервна тривалість роботи перед екраном не повинна перевищувати 1 годину з наступними регламентованими перервами по 10 хвилин для відпочинку та виконувannya комплексу фізичних вправ, релаксаційної гімнастики й ауто генного тренування.

Забороняється при не відключеному електроживленні ЕОМ :

- розкривати захисні кожухи й кришки блоків ЕОМ, робити регулювання й чищення внутрішніх деталей, змінювати запобіжники;

- переключати сполучні шнури блоків ЕОМ;

- змінювати встановлену конфігурацію робочого місця, переставляти блоки ЕОМ;

- робити вологе прибирання поверхонь комп'ютера;

- приймати їжу безпосередньо за клавіатурою комп'ютера.

Категорично забороняється на робочому місці оператора ЕОМ :

- курити, користатися відкритим вогнем;

- зберігати легкозаймисті, вибухонебезпечні і хімічно активні, що руйнують ізоляцію, продукти.

Ознаками аварійної ситуації на робочому місці оператора ЕОМ є:

- поява збоїв у роботі ЕОМ, заїдання паперу в принтері, зникнення зображення на екрані дисплея;

- коротке замикання, іскріння, появи запаху гару, підвищене нагрівання корпусу, штепсельних рознімачів, сполучних проводів, зниження або зникнення напруги в мережі і т.п.

В аварійній ситуації необхідно :

- роботу припинити, ЕОМ відключити від мережі;

- при загорянні використовувати вуглекислотний або порошковий вогнегасники;
- ужити заходів по евакуації людей і наданню першої медичної допомоги постраждалим;
- доповісти про те, що трапилося, керівникові відділу, ділянки;
- при необхідності викликати швидку допомогу, пожежну команду.

Безпека після закінчення роботи:

- закінчити працюючі програми, закрити всі каталоги, підготувати комп'ютер до вимикання;
- відключити ЕОМ і місцеве електроосвітлення від мережі;
- упорядкувати робоче місце, забрати документи, що використовувалися;
- переконатися у відсутності пожежної небезпеки.

### **6.5 Електробезпека та пожежна безпека при роботі з електронними обчислювальними машинами**

Основна причина ураження електричним струмом – порушення правил безпеки при експлуатації електроустановок.

Вимоги електробезпеки у приміщеннях, де встановлені електронно-обчислювальні машини і персональні комп'ютери (далі — ЕОМ) відображені у ДНАОП 0.00-1.31-99. Відповідно до цього нормативного документу під час проектування систем електропостачання, монтажу основного електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень для ЕОМ необхідно дотримуватись вимог Правил влаштування електроустановок (ПВЕ), ГОСТ 12.1.006-84, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.030-81, ГОСТ 12.1.045-84, ПТЕ, ПБЕ, ВСН 59-88 "Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования", СН 357-77 "Инструкция по проектированию силового осветительного оборудования промышленных предприятий", Правил пожежної безпеки в Україні та інших нормативних документів, що стосуються штучного

освітлення і електротехнічних пристроїв, а також вимог нормативно-технічної експлуатаційної документації заводу-виробника.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів і прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення

У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних ЕОМ, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Неприпустимим є підключення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі — з використанням перехідних пристроїв.

При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 персональних ЕОМ, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Заземлені конструкції, що знаходяться у приміщеннях (батереї опалення, водопровідні труби, кабелі із заземленим відкритим екраном тощо), мають бути надійно захищені діелектричними щитками або сітками від випадкового дотику.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних продовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

## **6.6 Атестація робочих місць**

Для об'єктивного аналізу відповідності умов праці діючим нормативно-правовим актам, необхідно здійснити санітарно-гігієнічну характеристику умов праці, атестацію робочого місця за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Атестація робочих місць за умовами праці на ЕОМ передбачає:

- комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці, відповідність їх характеристик стандартам безпеки праці, будівельним та санітарним нормам і правилам;
- виявлення факторів і причин виникнення несприятливих умов праці;
- санітарно-гігієнічне дослідження чинників виробничого середовища;
- встановлення ступеня шкідливості і небезпечності праці та її характеру за гігієнічною класифікацією;

- обґрунтування віднесення робочого місця до категорії зі шкідливими (особливо шкідливими) умовами праці;
- визначення (підтвердження) права працівників на пільги;
- аналіз реалізації технічних і організаційних заходів, спрямованих на оптимізацію рівня гігієни, характеру і безпеки праці.

Усю будівлю має бути електрифіковано, згідно з усіма відповідними нормами. Всі ЕОМ повинні використовуватися виключно за призначенням, так як можуть бути електронебезпечними при неправильному використанні. Бажано використовувати рідкокристалічні монітори, так як рентгенівське випромінювання від них не становить небезпеки для користувача, оскільки інтенсивність такого випромінювання значно нижча від гранично допустимого рівня. Рівень електромагнітного випромінювання має передбачати можливий 12-ти годинний час перебування у зоні випромінювання. Рівень напруженості електростатичного поля має знаходитися в межах норми.

У приміщенні також є столи, крісла і шафи для документів. Усі вони можуть бути розміщені лише відповідно до їх функціонального призначення, а їх кількість відповідати номенклатурі знарядь праці, змісту та особливостям виконуваної роботи.

Конструкція робочого столу повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури) і документів.

Робоче крісло повинно бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з переднім заокругленим краєм. Висота поверхні сидіння регулюватися в межах від 400 до 500 мм, а ширина і глибина становити по 450 - 500 мм. Кут нахилу спинки регулюватися в межах від 0° до 30° відносно вертикального положення. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок встановлені стаціонарні підлокітники завдовжки 250 мм. Поверхня сидіння відповідати усім вимогам.

Монітор комп'ютера має знаходитися на достатній відстані від очей користувача. Клавіатура розташовуватися на поверхні столу на відстані 200



мм від краю, звернутого до працюючого. У конструкції клавіатури повинен бути передбаченим опорний пристрій, який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах від 5 до 15.

Таким чином, ергономічні параметри робочого місця відповідатимуть вимогам до їх організації та конструкції та забезпечуватимуть підтримання оптимальної робочої пози.

У холодний період року для обігріву будівлі рекомендується використовувати власну незалежну систему опалення. Це позитивно відображається на самопочутті працівників, так як є можливість керувати обігрівом приміщень.

Забезпечення метеорологічних умов праці та чистоти повітря в приміщенні необхідно здійснювати за допомогою системи припливно-втяжної вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

Необхідно використовувати штучне та природне освітлення. Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) для четвертого світлового поясу, в якому розташована Україна, складає 0,81. Крім того приміщення повинно додатково освітлюватися за допомогою світильників із лампами розжарювання потужністю 200 Вт.

Таким чином, умови праці співробітника в цілому відповідатимуть існуючим санітарно-гігієнічним нормам. Але у зв'язку з тим, що більшу частину часу працівник займає сидячу позу і мало рухається, пропонується ввести п'ятихвилинну виробничу гімнастику, яку необхідно проводити після кожних 60 хвилин сидячої роботи, і яка буде спрямована на покращення фізичного і морального стану і самопочуття працівника.

### **Висновки**

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Під умовами праці розуміється сукупність факторів трудового процесу та виробничого середовища, в якій реалізується діяльність людини, що впливають на здоров'я і працездатність.

Темпи зростання числа користувачів ПЕОМ неухильно зростають. Одночасно з цим стає все більш очевидною можлива небезпека для здоров'я працюючих на ПЕОМ. Під час роботи з комп'ютером найбільшому ризику піддаються зорова, опорно-рухова, нервово-психічна системи і репродуктивна функція у жінок. Крім того, відеодисплейний термінал порушує рівновагу між позитивно і негативно зарядженими іонами в повітрі.

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96

«Гігієнічні вимоги до відео дисплейним терміналам, персональним електровичислювальним машин і організації робіт».

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є: електростатичні поля; електромагнітне випромінювання; наявність потужних іонізуючих випромінювань; локальне стомлення, загальна втома; стомлюваність очей; небезпека ураження електричним струмом; пожежонебезпека.

В аварійних ситуаціях комп'ютер повинен негайно відключений від мережі: при відключенні електричної енергії; при пожежі; при появі запаху диму.

Найбільш жорсткі вимоги в світі до комп'ютерної техніки пред'являють шведи, які провели якнайповніші дослідження впливу всіх видів випромінювань на здоров'я людини. Країни Європейського союзу при створенні єдиного стандарту ЄС орієнтувалися саме на шведські норми ТСО 92. Російські вимоги на випромінювання від відеомоніторів поки що нижче, ніж у ТСО 92, однак у найближчих планах Держстандарту - підняти планку безпеки до рівня шведської.

## ВИСНОВКИ

Особливістю дискретних (цифрових) систем керування є можливість складної обробки інформації і виконання таких операцій, які не можуть бути здійсненні з необхідною точністю за допомогою аналогових пристроїв.

Задача керування об'єктом або процесом в цифрових системах, як і в лінійних, покладається на регулятор. Так як закон керування в дискретних системах реалізується, як правило, програмно, це дозволяє швидко перебудувати параметри регуляторів, а при необхідності і їх структуру.

Від того наскільки коректно вибирається структура, розраховуються і налаштовуються параметри регулятора багато в чому залежить ефективність системи управління і стабілізації.

В ході виконання дипломної роботи було:

- створено САПР цифрових регуляторів систем керування інерційними динамічними об'єктами і технологічними процесами для якої:

- визначено базові компоненти системи керування та їх характеристики;
- обґрунтовано методика синтезу цифрових регуляторів
- розроблено способи оцінки впливу цифрових регуляторів на якість систем керування;
- створено алгоритм проектування цифрового регулятора;

- розроблено методи та визначено алгоритми розрахунку регуляторів оптимального керування технологічними процесами:

- по перехідній характеристиці об'єкта керування;
- по частотним характеристикам об'єкта керування;
- по максимальній швидкості об'єкта керування;

- обґрунтовано необхідність виконання та проведені експериментальні дослідження в інтересах коректного проектування. Теоретичні та експериментальні дослідження методів розрахунку регуляторів показали гарну збіжність результатів;

- розроблено математичну модель дискретної системи стабілізації і керування (курсом корабля). Модель дозволила синтезувати параметри ПД-регулятора з метою забезпечення необхідних показників якості функціонування системи.

- синтез цифрових (дискретних) регуляторів дозволив вибрати оптимальний для спроектованої системи; з точки зору якості керування оптимальним є ПД-регулятор з запропонованою системою цифрової нелінійної корекції;

- розроблено програмне забезпечення автоматизованого проектування цифрових регуляторів. Програма в графічному інтерфейсі дозволяє оперативно розраховувати оптимальні коефіцієнти для будь-якого інерційного об'єкту або процесу та будь-якого типу цифрового регулятора, видаляючи та комбінуючи необхідні канали.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аблесімов О.К. Теорія автоматичного керування. - К.: Освіта України, 2019. – 270 с.
2. Аблесімов О.К., Александров Є.Є., Александрова І.Є. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами. - Харків: НТУ «ХП», 2008. – 443с.
3. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Бріцький О.І. Теорія автоматичного управління. - К: Техніка, 2002. - 688с.
4. Аблесімов О.К. Теорія автоматичного керування. Методичні вказівки до лабораторних робіт. – К.: Принт-центр, 2019. – 110с.
5. Наумчук О. М. Основи систем автоматизованого проектування. – Рівне: НУВГП, 2008. – 136с.
6. Тимченко А. А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Основи САПР та системного проектування складних об'єктів: Підручник / за ред.. В.І.Бикова.- 2-ге вид. – К.: Либідь, 2003. – 272 с.
7. Єщенко О.А. Основи САПР [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. напряму 6.050503 “Машинобудування” ден. і заочн. форм навчання. / Єщенко О.А., Р.Л. Якобчук, Змієвський Ю.Г. – К.: НУХТ, 2014. – 205 с
8. Довідник по САПР/Пр. В.И.Скурихіна. -К.: Техніка, 1988.
9. Ч.Філліпс, Р. Харбор Системи управління зі зворотним зв'язком. : ЛБЗ, 2001. - 615с.
10. Р. Дорф, Р. Бішоп Сучасні системи управління. ЛБЗ, 2004. - 832с.
11. Дьяконов В. Simulink 4. Спеціальний довідник. Пітер, 2002. - 528с.
12. Крижанівська Ю. А. MatLAB для дискретних систем управління. ВДУ, 2005. - 27с.
13. Соколов Ю.М. Комп'ютерний аналіз і проектування систем управління. - Харків: ХАІ, 2010. - 343с.

14. Чабан Ю.М. Деякі питання суднової автоматики: конспект лекцій,  
Навчальний посібник, 2001 г. - 20 с.

