

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи студентів з дисципліни
з дисципліни «Теорія автоматичного управління технологічними системами»
для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка

*Затверджено Методичною радою
Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ»*

Київ – 2013

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів (СРС) з дисципліни «Теорія автоматичного управління технологічними системами» для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка: / Укладач Петраков Ю.В. – К.: Електронне видання, 2013. – 24 с.

Затверджено Методичною радою Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ» ,
протокол № 7 від 17.01.2013 р.

Укладач: Петраков Юрій Володимирович, док. техн. наук, проф.

Рецензент: Пуховський Євген Степанович, док. техн. наук, проф.

Відповідальний редактор: Біланенко Віктор Григорович, канд. техн. наук,
доцент

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Загальні відомості	4
2. Розподіл навчального часу	4
3. Перелік питань для підготовки та закріплення лекційного матеріалу	5
4. Модульна контрольна робота	10
4.1. Завдання для виконання МКР	11
4.2. Приклад виконання МКР	12
5. Розрахунково-графічна робота	17
6. Перелік рекомендованої літератури	18

Кафедра технології машинобудування
Механіко-машинобудівного інституту
НТУУ КПІ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

«Теорія автоматичного управління технологічними системами» - навчальна дисципліна, яка входить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін і є складовою частиною освітньо-професійної програми вищої освіти за напрямом 050502 – «Інженерна механіка».

Мета викладання цієї дисципліни – дати важливий обсяг актуальних технічних знань і практичних навичок з аналізу та синтезу систем та об'єктів автоматичного управління та, головне, сформувати у студентів системний підхід, що дозволить легко адаптуватись у різних сферах інженерної діяльності і навіть в економічних проблемах та менеджменті, що є надзвичайно важливим на сучасному етапі.

Дисципліна «Теорія автоматичного управління технологічними процесами» є загально інженерною дисципліною і вивчається студентами всіх інженерних спеціальностей. Тому вона викладається у класичному варіанті, але повністю адаптується до майбутньої спеціальності студента. Виходячи з цієї концепції розглядаються не тільки основи аналізу та синтезу систем автоматичного управління, а й застосування цього універсального математичного апарату до моделювання, аналізу і синтезу об'єктів металообробки, що управляються.

Курс складається з лекційних, лабораторних занять (комп'ютерний практикум) та розрахунково-графічної роботи. Дисципліна спирається на курси «Вища математика», «Інформатика», «Теорія різання», «Електротехніка та електроніка», «Гідравліка» та готує студентів до найкращого засвоєння матеріалу курсів «Основи автоматизації машинобудування», «Технологічні процеси для верстатів з ЧПУ», «САПР технологічних процесів», дипломного проектування тощо.

2. РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ

Розподіл навчальних годин за семестрами і видами навчальних занять здійснюється відповідно до робочого навчального плану бакалавра для денної форми навчання таким чином:

Найменування дисципліни (семестр)	Обсяг дисципліни		Аудиторних годин				Самостійна робота студентів	Семестрова атестація
	Кредитів ECTS	Годин	Всього	в тому числі				
				Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)		
Теорія автоматичного управління технологічними процесами (6)	4,5	162	72	54	-	18	90	іспит
Разом:	4,5	162	72	54	-	18	90	

До СРС відносяться:

- підготовка та закріплення лекційного матеріалу – ця частина СРС забезпечується відповідними підручниками та посібниками [1, 2, 3, 4].
- підготовка та оформлення лабораторних робіт (комп'ютерний практикум) – забезпечується відповідними методичними вказівками [6];
- підготовка до модульної контрольної роботи, яка передбачена робочим навчальним планом дисципліни;
- підготовка та виконання розрахунково-графічної роботи (РГР), яка передбачена робочим навчальним планом дисципліни, – забезпечується відповідними методичними вказівками [10].

3. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

1. Розвиток автоматичного управління, технічна кібернетика.
2. Система автоматичного управління, її склад.
3. Управління за збуренням та за помилкою.
4. Замкнені і розімкнені системи. Принцип зворотного зв'язку.
5. Цілі автоматичного управління.

6. Лінійні та нелінійні системи, системи прямої і непрямой дії, одномірні та багатомірні системи, адаптивні системи. Системи з самоналагодженням параметрів, структура, екстремальні системи.
7. Визначення нелінійності. Дві форми руху: перехідний і такий, що встановився. Основний метод лінеаризації.
8. Стандартна форма запису математичної моделі.
9. Передаточна функція, складання передаточних функцій систем та об'єктів автоматичного управління.
10. Визначення функціональної схеми. Системний підхід до представлення систем і об'єктів автоматичного управління.
11. Перетворення Лапласу.
12. Структурні схеми, представлення математичних моделей у вигляді структурних схем.
13. Основні правила та умови позначення структурних схем.
14. Послідовне і паралельне з'єднання елементів.
15. Перетворення схем зі зворотнім зв'язком.
16. Три форми представлення математичних моделей: диференціальне рівняння, передаточна функція і змінні стану.
17. Адекватність представлення. Передаточна матриця. Подання математичної моделі у матричній формі.
18. Визначення систем, що спостерігаються, управляються тощо.
19. Здатність системи до управління та спостереження, методика розпізнавання систем, що спостерігаються, але не управляються.
20. Типові динамічні впливи і основні характеристики.
21. Одиначна східчаста функція, одиначний імпульс, гармонічний сигнал.
22. Реакція систем і об'єктів та типові динамічні впливи. Характеристики систем у часовому та частотному просторах.
23. Частотна передаточна функція.
24. Амплітудно-частотна і фазово-частотна характеристики.

25. Визначення частотних характеристик систем і об'єктів за їх математичними моделями.
26. Експериментальне визначення частотних характеристик. Необхідне обладнання, методика експерименту.
27. Амплітудно-фазово-частотна характеристика.
28. Зображення на комплексній площині, діаграма Найквіста.
29. Логарифмічні частотні характеристики. Метод побудови логарифмічних частотних характеристик. Система координат, децибел, декада. Логарифмічна АФЧХ – діаграма Блека.
30. Отримання перехідних характеристик за математичними моделями систем і об'єктів.
31. Класичний метод.
32. Операційний метод з використанням перетворень Лапласу.
33. Графоаналітичний метод дійсних частотних трапецеїдальних характеристик.
34. Методи моделювання. Представлення математичних моделей у формі, що необхідна для моделювання на ПЕОМ.
35. Чисельні методи. Однокроковий метод Ейлера, метод Рунге-Кутта четвертого порядку.
36. Моделювання систем і об'єктів на аналогових машинах. Методика складання електронних аналогів. Розрахунок масштабів, реєстрація результатів.
37. Визначення типового динамічного елемента за математичною моделлю.
38. Безінерційні елементи. Аперіодичні елементи 1-го та 2-го порядку.
39. Коливальні елементи.
40. Ідеальний інтегруючий елемент. Реальний інтегруючий елемент.
41. Математичні моделі, приклади, методика отримання перехідних і частотних характеристик. Застосування інтегруючих елементів при представленні систем.

42. Ідеальний диференціюючий елемент. Реальний диференціюючий елемент.
43. Математичні моделі, приклади, методика отримання перехідних і частотних характеристик.
44. Запізнюючі та спеціальні типові динамічні елементи.
45. Методи ідентифікації типових динамічних елементів.
46. Оцінка якості систем і об'єктів за їх математичними моделями.
47. Теоретичні та експериментальні методи оцінки якості. Загальні критерії якості.
48. Критерії оцінки сталості. Алгебраїчний критерій Гурвиця. Матриця коефіцієнтів.
49. Частотний критерій Найквіста. Запас сталості за амплітудою та за фазою. Оцінка сталості за допомогою логарифмічних частотних характеристик розімкненої системи.
50. Оцінка швидкодії і запасу сталості за перехідною характеристикою. Перерегулювання.
51. Оцінка швидкодії і запасу сталості кореневими методами. Діаграма якості у часовій площині. Затухання за період, ступінь сталості. Діаграма якості на комплексній площині.
52. Визначення точності. Еволюція помилки системи у часі.
53. Статичні та астатичні системи. Оцінка точності при статичному режимі роботи, режимі руху з постійною швидкістю, з постійним прискоренням.
54. Добротність систем за швидкістю, за прискоренням.
55. Режим руху за гармонічним законом. Оцінка точності за ЛАЧХ системи.
56. Пряма і зворотна задачі оцінки точності. Коефіцієнти помилки.
57. Загальний підхід до оцінки якості. Оцінка якості електромеханічних систем. Комплексна оцінка якості гідромеханічних систем. Комплексна оцінка якості систем автоматичної стабілізації сили різання при точінні.

58. Визначення основних показників якості ТОС. Основні критерії оцінки якості. Оцінка якості ТОС оброблення деталей різанням. Методи підвищення якості ТОС.
59. Загальні принципи проектування. Системи автоматизованого проектування. Загальна структура і алгоритм САПР.
60. Загальні методи підвищення якості: підвищення та забезпечення сталості, точності, швидкодії.
61. Збільшення коефіцієнту передачі прямого ланцюга регулювання. Підвищення порядку астатизму. Ізодромні пристрої та ПІ-регулятори.
62. Регулювання за похідними від помилки. ПД-регулятори.
63. Інваріантність і комбіноване управління. Застосування неединичного зворотного зв'язку.
64. Методи підвищення сталості. Елементи, що коректують. Послідовні, паралельні елементи, що коректують.
65. Елементи, що коректують, у вигляді місцевих зворотних зв'язків.
66. Синтез послідовних зворотних зв'язків. Синтез послідовних елементів, що коректують, за ЛАЧХ розімкненої системи.
67. Забезпечення області сталих значень параметрів приводу. Механічні порівняльні пристрої.
68. Частотний метод аналізу якості і синтезу систем. Номограми Хола для амплітуд і для фаз.
69. Розв'язання задачі синтезу на плані Найквіста. Визначення коефіцієнта передачі САУ за допомогою номограми Блека.

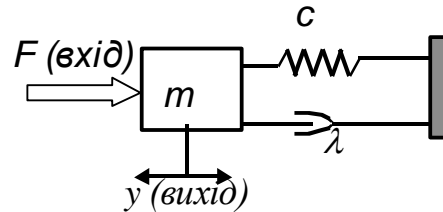
4. МОДУЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Модульна контрольна робота присвячена тематиці відповідних розділів робочої навчальної програми дисципліни «Теорія автоматичного управління технологічними системами».

4.1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МКР

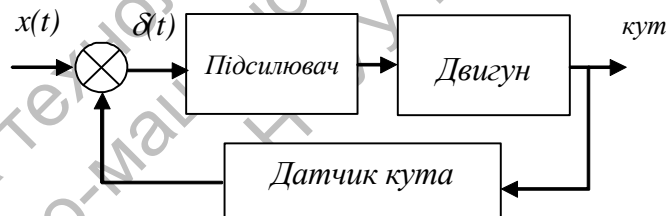
Завдання №1

Знайти передаточну функцію динамічної системи супорту металорізального верстату, схема якої зображена на рисунку, і визначити частоту ω_0 власних коливань і коефіцієнт ξ затухання коливань. Вихідні дані: $c=4 \cdot 10^6$ Н/м; $m=5$ кг; $\lambda=1000$ кг/с. Результат округлити до тисячних.



Завдання №2

Знайти коефіцієнт k_n передачі підсилювача САУ промислового робота, функціональна схема якої зображена на рисунку, щоб при $x(t)=\sin 10t$ помилка $\delta_{max} = 0,1$. Вихідні дані: Передаточні функції: Підсилювач – $W_n(s)=k_n$; Датчик кута – $W_{dk}(s)=0,5$; Двигун – $W_o(s)=\frac{2s}{0,1s+1}$.



Завдання №3

Знайти установче переміщення H_z різця при розточуванні отвору за один прохід на верстаті з ЧПУ, якщо треба зняти припуск на сторону $H_\phi=2$ мм, приведена жорсткість технологічної системи $c = 4 \cdot 10^6$ Н/м, а коефіцієнт лінеаризованої залежності складової P_y сили різання від глибини $k_p = 5 \cdot 10^5$ Н/м.

4.2. ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ МКР

Результатом виконання МКР є розв'язання відповідних задач.

Завдання №1

1. Рівняння руху: $m \frac{d^2 y}{dt^2} + \lambda \frac{dy}{dt} + cy = F$.

2. Рівняння у стандартній формі: $\frac{m}{c} s^2 y + \frac{\lambda}{c} sy + y = \frac{1}{c} F$.

3. Звідки передаточна функція: $W(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1/c}{\frac{m}{c} s^2 + \frac{\lambda}{c} s + 1}$.

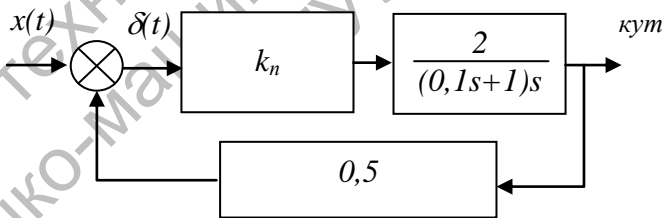
4. Із порівняння з передаточною функцією коливального елемента:

$$W(s) = \frac{k}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{s}{\omega_0} + 1} \text{ маємо: } \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^6}{5}} = 894,43 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\xi = \frac{\lambda \cdot \omega_0}{2 \cdot c} = \frac{1000 \cdot 894,43}{2 \cdot 4 \cdot 10^6} = 0,11.$$

Завдання №2

1. Ураховуючи, що на виході САУ – кут повороту, структурна схема має вигляд:



2. Звідки передаточна функція розімкненої САУ:

$$W(s) = \frac{k_n \cdot 2 \cdot 0,5}{(0,1s+1)s} = \frac{k_n}{0,1s^2 + s}$$

3. Частотна передаточна функція: $W(j\omega) = \frac{k_n}{0,1(j\omega)^2 + (j\omega)} = \frac{k_n}{j\omega - 0,1\omega^2}$.

4. Амплітудно-частотна характеристика:

$$A(\omega) = \frac{\text{mod}(k_n)}{\text{mod}(j\omega - 0,1\omega^2)} = \frac{k_n}{\sqrt{\omega^2 + 0,01\omega^4}}.$$

5. Для того, щоб при $\omega=10$ помилка $\delta_{max}=0,1$ необхідно $A(10)=1/0,1=10$.

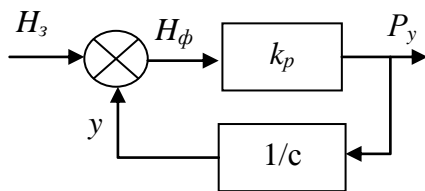
6. Підставляємо у вираз амплітудно-частотної характеристики:

$$10 = \frac{k_n}{\sqrt{10^2 + 0,01 \cdot 10^4}} = \frac{k_n}{10\sqrt{2}},$$

звідки: $k_n=141$.

Завдання №3

1. Структурна схема ТОС:



2. Зі структурної схеми: $\frac{H_\phi}{H_z} = \frac{1}{1 + k_p \frac{1}{c}} = \frac{c}{c + k_p}$.

3. Звідки: $H_z = \frac{H_\phi (c + k_p)}{c}$.

4. Підставляємо вихідні дані і отримуємо: $H_z = \frac{2 \cdot (4 \cdot 10^6 + 5 \cdot 10^5)}{4 \cdot 10^6} = 2,25 \text{ мм}$.

5. РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Робочим навчальним планом передбачено виконання розрахунково-графічної роботи.

Мета розрахунково-графічної роботи – придбання і закріплення практичних навичок самостійного виконання аналізу систем автоматичного управління в машинобудуванні.

РГР виконується на аркушах ф.А4 і представляється у зшитому вигляді.

Розрахунково-графічна робота повинна містити:

1. Вихідну схему заданої САУ з вихідними даними. Стислий опис призначення і принципу дії САУ.
2. Функціональну схему з описом функцій кожного елемента.
3. Виведення передаточних функцій всіх елементів САУ. Визначення виду типових динамічних елементів.
4. Структурну схему вихідної САУ. Визначення необхідних передаточних функцій системи.
5. Визначення сталості САУ. Оцінка запасів сталості за амплітудою і за фазою. Корекція параметрів або структури САУ в разі необхідності – структурна схема скоректованої системи.
6. Побудову перехідної характеристики за заданим входом.
7. Аналіз критеріїв якості САУ. Висновки.

Приклад виконання розрахунково-графічної роботи

Як приклад системи автоматичного управління розглянемо найбільш розповсюджений в металообробці тип замкнених САУ, призначених для автоматичного регулювання процесу різання заздалегідь встановленим чином. Такі системи можуть застосовуватися як для стабілізації заданих вихідних параметрів процесу різання, так і для їх модифікації в циклі обробки за певним алгоритмом. Найбільш доцільно використання таких систем на заключних, фінішних операціях технологічного процесу, якими, як правило, є операції алмазно-абразивної обробки.

При шліфуванні точність обробки, в основному, визначається пружними деформаціями технологічної системи, що, в свою чергу, залежать від сили різання. Тому система автоматичної стабілізації сили різання на заздалегідь заданому рівні і програмного зменшення її до кінця циклу шліфування дозволяє підвищити точність обробки і значно покращити якість поверхні деталей.

САУ змонтована на круглошліфувальному верстаті (рис.1), що складається з інструментальної бабки 1 зі шліфувальним кругом 2 і двигуном головного руху 3, передньої бабки 4 з приводом обертання деталі 5, стола 6 з гідравлічним циліндром 7 повздовжньої подачі.

Система стабілізації сили різання складається з перетворювача струму 8, підсилювача 9, порівняльного пристрою 10, підсилювача 11 і двокаскадного гідравлічного підсилювача з голкою та золотником і електромеханічним перетворювачем 12.

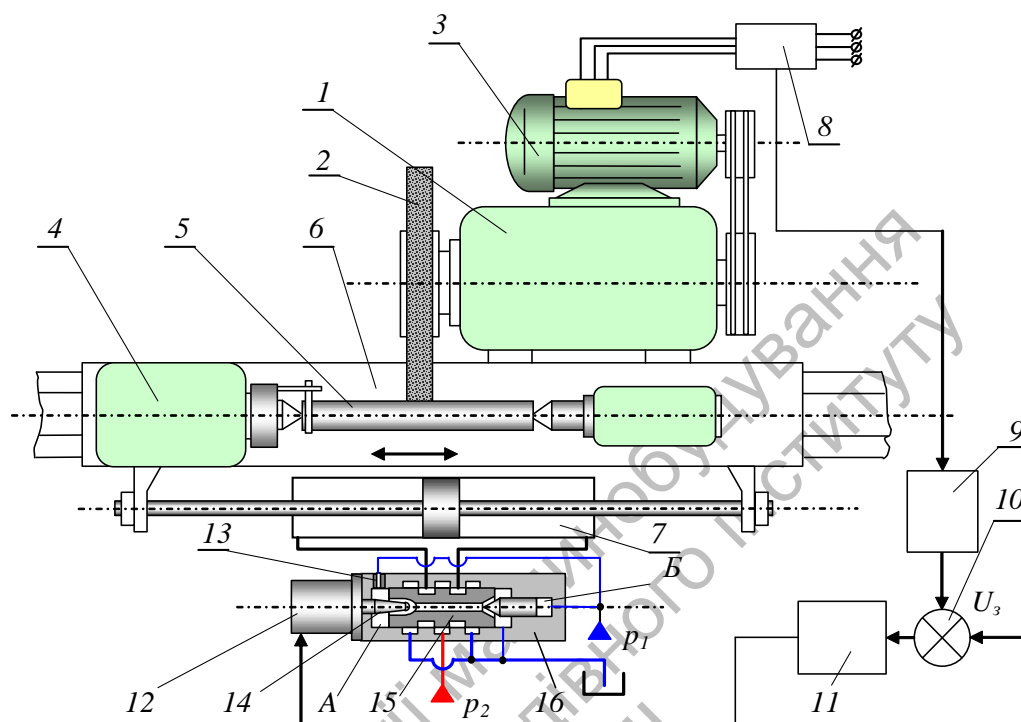


Рис.1. Принципова схема САУ

Система працює наступним чином. Напруга U_3 , в певному масштабі відповідає значенню сили різання P , що вимагається, подається на вхід порівняльного пристрою 10. Оскільки сила різання P визначає момент двигуна 3 головного руху, а отже, і струм двигуна, що вимірюється перетворювачем струму 8, то на інший вхід порівняльного пристрою надходить сигнал, пропорційний діючій силі різання. Величина помилки через підсилювач 11 надходить на обмотки електромеханічного перетворювача 12.

Перший каскад гідравлічного підсилювача живиться від джерела з невеликим постійним тиском p_1 і обмеженою витратою робочої рідини. Робоча рідина проходить крізь дросель 13, камеру A , прохідний перетин між голкою і кромкою отвору у плунжері 15 і далі по внутрішньому каналу у плунжері золотника потрапляє на злив. Джерело живлення першого каскаду з'єднане також з камерою B .

Другий гідравлічний каскад підсилення живиться від джерела з підвищеним постійним тиском p_2 і значною витратою робочої рідини.

У нейтральному положенні плунжер 15 золотника знаходиться у рівновазі і його крайки перекривають вікна у гільзі 16, гідравлічний циліндр 7 нерухомий. В цьому положенні між голкою і отвором у торці плунжера повинен бути деякий початковий зазор, через прохідний перетин якого потік робочої рідини проходить на злив.

При переміщенні голки 14 електромеханічним перетворювачем 12 змінюється площа прохідного перетину між голкою і кромкою отвору у плунжері та, як наслідок, опір витіканню рідини в даному перетині. Це приводить до модифікації тиску в камері A і переміщення плунжера 15. Плунжер 15 буде переміщатися доти, доки не встановиться колишній прохідний перетин між голкою 14 і отвором у плунжері 15. Переміщуючись, плунжер 15 відкриває вікна у гільзі 16 золотника. Одна з порожнин гідроциліндра 7 з'єднується з лінією тиску, інша – зі зливом. Швидкість руху штока гідроциліндра 7 і повздовжня подача залежать від величини відкриттів вікон у гільзі 16 золотника.

Таким чином, керуючи подачею S , здійснюють регулювання сили різання з метою її стабілізації при модифікації зовнішніх умов обробки, що є збуреннями. Змінюючи задавальний вплив U_3 , можна забезпечити модифікацію сили різання в течію усього циклу шліфування деталі за оптимальним законом. Відзначимо, що на рис. 4.1 не показана та частина системи управління, що реалізує циклове управління: переключає напрямок руху гідроциліндра, підводить і відводить шліфувальну бабку і т. ін.

Для складання математичної моделі системи спочатку побудуємо її функціональну схему. При цьому необхідно пам'ятати, що вона відображає не технічні властивості окремих елементів, а функції, які вони виконують в системі управління і зв'язки між ними.

Поділимо САУ на функціональні елементи. Передусім виділимо об'єкт, що управляється, - процес різання, який реалізується в замкненій технологічній системі. Вхідним, керуючим впливом, є повздовжня подача S , збуренням – задана глибина різання H_3 , а вихідним, регульованим параметром (ціллю управління) – сила P різання. Беремо лінійну модель, яка враховує, що

фактична глибина різання H_ϕ залежить від деформації еквівалентної пружної системи (ЕПС) верстата.

Далі послідовно простежимо проходження сигналів в САУ. Сила різання викликає момент навантаження асинхронного електродвигуна головного руху, що приводить до модифікації струму в ланцюзі живлення. Отже, електродвигун головного руху як елемент функціональної схеми повинен бути поданий елементом, на вході якого момент M навантаження, а на виході - струм I . Момент навантаження, без урахування моменту інерції та тертя, приблизно можна визначити за простою формулою:

$$M = P_z \frac{D_k}{2} k_p,$$

де P_z – тангенціальна складова сили різання; D_k – діаметр шліфувального круга; k_p – передаточне відношення клиноремінної передачі.

В ланцюг живлення двигуна ввімкнений перетворювач струму (струмовий трансформатор), вхідним сигналом якого є струм I двигуна, а вихідним - напруга U_n , пропорційна струму. Ця напруга після електронного підсилювача подається на порівняльний пристрій як сигнал зворотного зв'язку U_o .

Сигнал помилки $\delta U = U_n - U_o$ через другий електронний підсилювач надходить на електромеханічний перетворювач, входом якого є напруга U_{em} , а виходом – переміщення h голки гідравлічного підсилювача.

Двокаскадний гідравлічний підсилювач має внутрішній зворотний зв'язок, завдяки якому плунжер золотника стежить за переміщенням голки. Отже, вхідною величиною першого каскаду підсилення необхідно вважати помилку $\delta h = h - h_z$, де h_z – переміщення плунжера золотника (відкриття щілин). Вихідною величиною гідравлічного підсилювача є витрата Q потоку робочої рідини в лінії навантаження. Шток гідравлічного циліндра переміщає стіл верстата зі швидкістю повздовжньої подачі S .

З'єднуючи виділені в ході аналізу елементи САУ між собою відповідно до їх функціонального призначення і принципової схеми САУ, будемо її функціональну схему (рис.2).

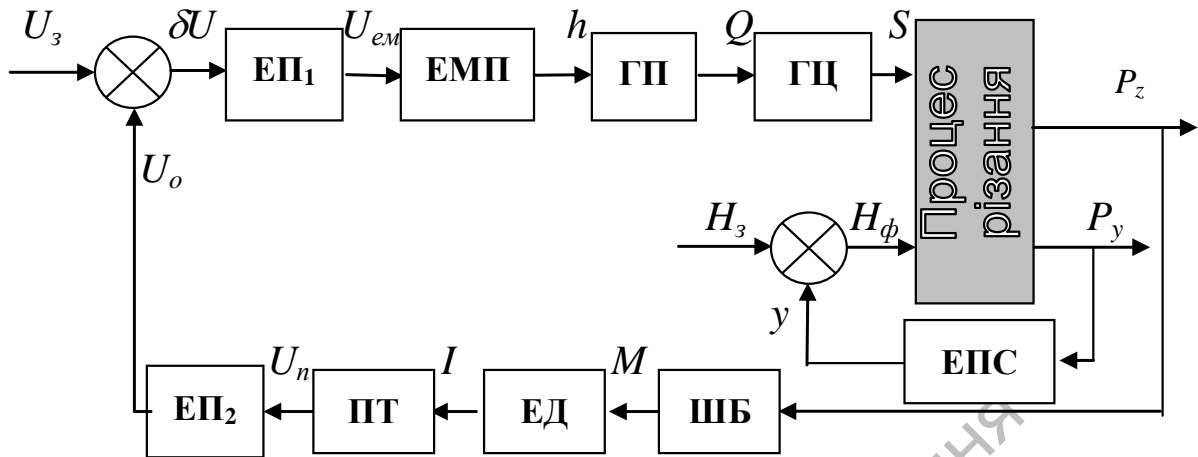


Рис.2. Функціональна схема САУ

Наступним етапом є визначення передаточних функцій всіх елементів САУ. Тут необхідно дотримуватися принципів складання математичних моделей, викладених у розділі 3.

Електронні підсилювачі достатньо подати безінерційними елементами з наступними коефіцієнтами передачі: підсилювач в прямому каналі регулювання - k_{en1} (це значення підлягає визначенню), підсилювач в каналі зворотного зв'язку - $k_{en2}=10$. Електромеханічний перетворювач може бути поданий аперіодичним елементом 1-го порядку з постійною часу $T_{em}=0.01$ с та коефіцієнтом передачі $k_{em}=0.2$ мм/В.

Гідравлічний підсилювач характеризується наступними параметрами: коефіцієнти передачі першого і другого ступенів підсилення $k_{zn1}=15$, $k_{zn2}=2.0 \cdot 10^7$ мм²/хв відповідно, постійна часу $T_{zn}=0.05$ с. Корисна площа поршня гідроциліндра $F_{zn}=100$ см².

Електродвигун головного руху може бути представлений аперіодичним елементом 1-го порядку з коефіцієнтом передачі $k_{\delta}=0.5$ А/Нм та постійною часу $T_{\delta}=0.06$ с. Перетворювач струму – безінерційний елемент з коефіцієнтом передачі $k_n=0.1$ В/А.

Як видно з функціональної схеми, процес різання має два входи: за керуючим впливом S і за збуренням H_3 . Тому процес різання може бути представлений лінеаризованим рівнянням:

$$T_p \frac{dP_y}{dt} + P_y = (K_S)_0 S + (K_H)_0 H_\delta,$$

де, згідно з вихідними даними, постійна часу стружкоутворення $T_p=0$, а коефіцієнти лінеаризованого рівняння:

$$(K_S)_0 = \left(\frac{\partial P_y}{\partial S} \right)_0 = C_p V_a^x y H_0^{y-1} S_0^z = 30 \cdot 30^{0.5} \cdot 0.8 \cdot 0.01^{-0.2} \cdot 10^{0.5} = 1044;$$

$$(K_H)_0 = \left(\frac{\partial P_y}{\partial H} \right)_0 = C_p V_a^x H_0^y z S_0^{z-1} = 30 \cdot 30^{0.5} \cdot 0.01^{0.8} \cdot 0.5 \cdot 10^{-0.5} = 0.6526.$$

Відповідно до одиниць фізичних величин вихідних даних необхідно узгодити одиниці виміру подачі в формулі розрахунку сили різання (мм/об) з одиницями виміру швидкості переміщення стола – штока гідроциліндра (мм/хв). У вихідних даних було задано: швидкість деталі $V_\delta=30$ м/хв і діаметр деталі $D_\delta=100$ мм, звідки можна визначити частоту обертання деталі:

$$n = \frac{1000 V_\delta}{\pi D_\delta} = \frac{1000 \cdot 30}{\pi \cdot 100} = 95 \text{ об/хв}$$

Отже, хвилинна подача зв'язана з подачею на оберт коефіцієнтом $k_1=1/n=1.05 \cdot 10^{-2}$.

Еквівалентна пружна система описується коливальним елементом з передаточною функцією, що, згідно з прийнятими вихідними даними ($\omega_0=600$ рад/с, $\xi=0.2$, $c=1 \cdot 10^7$ Н/м), має такий вигляд:

$$W_{\text{АВН}}(s) = \frac{Y(s)}{P_y(s)} = \frac{1/c}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 2\xi \frac{s}{\omega_0} + 1} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2.78 \cdot 10^{-6} s^2 + 6.67 \cdot 10^{-4} s + 1}.$$

Після визначення передаточних функцій всіх елементів САУ, користуючись функціональною схемою, складаємо структурну схему (рис.3). Враховуючи, що САУ призначена для стабілізації сили різання, беремо як вихідну величину складову P_y , а складову P_z знайдемо з простого співвідношення, яке відоме з теорії шліфування $P_y=2.5 P_z$.

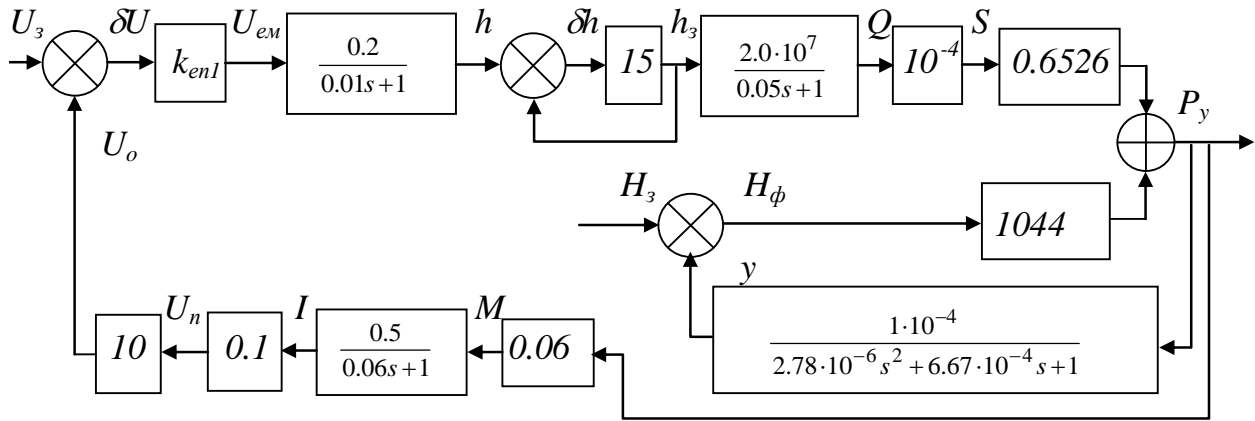


Рис.3. Структурна схема САУ

В САУ можна виділити прямий канал регулювання: від задавального сигналу U_z до складової P_y сили різання (враховуючи місцеві зворотні зв'язки) і канал зворотного зв'язку від складової P_y до напруги U_o , що надходить на елемент порівняння. При цьому принципово важливо, що місце додатка збурення охоплене головним зворотним зв'язком. В іншому випадку ефекту регулювання не було б, бо величина, що управляється, – сила різання, перевернувшись під впливом збурення, не коректувалася б за рахунок зворотного зв'язку.

Визначимо сталість САУ та виберемо таке значення коефіцієнта підсилення першого електронного підсилювача k_{en1} , що забезпечує потрібний запас сталості за амплітудою і за фазою. Зі структурної схеми рис. 4.3 випливає, що САУ містить 3 замкнених контури, отже, кожний з них повинен бути перевірений на сталість окремо. Однак аналіз замкненого контура, який подає процес різання в замкненій технологічній системі, показує, що він завжди є сталим. Очевидно, не виникає проблем сталості і в контурі, що подає перший каскад гідравлічного підсилювача. Тому спочатку, користуючись правилами перетворення структурних схем, визначимо передаточну функцію процесу різання в замкненій технологічній системі:

$$W_{\text{від}}(s) = \frac{1}{1 + \frac{1044 \cdot 10^{-4}}{2.78 \cdot 10^{-6} s^2 + 6.67 \cdot 10^{-4} s + 1}}} = \frac{2.78 \cdot 10^{-6} s^2 + 6.67 \cdot 10^{-4} s + 1}{2.78 \cdot 10^{-6} s^2 + 6.67 \cdot 10^{-4} s + 1.1044}$$

$$W_{\delta}(s) = k_{yoi} \cdot \frac{0.2}{0.01s + 1} \cdot \frac{15}{1 + 15} \cdot \frac{2 \cdot 10^7}{0.05s + 1} \cdot 10^{-4} \cdot 0.0105 \cdot 0.6526 \cdot$$

Визначення сталості САУ будемо проводити за критерієм Найквіста, тому необхідно скласти передаточну функцію розімкненої системи і подати її в стандартній формі, що дозволить скористатися програмами побудови перехідної і частотних характеристик на ЕОМ. Отже, передаточна функція розімкненої за головним зворотним зв'язком системи має такий вигляд:

$$\cdot W_{id}(s) \cdot 0.06 \cdot \frac{0.5}{0.06s + 1} \cdot 0.1 \cdot 10.$$

Спочатку беремо значення коефіцієнта підсилення $k_{enl} = 500$ і після елементарних алгебраїчних перетворень одержуємо передаточну функцію в стандартній формі так, щоб вільний член полінома знаменника дорівнював 1:

$$W_{\delta}(s) = \frac{9.69 \cdot 10^{-5} s^2 + 2.33 \cdot 10^{-2} s + 34.9}{7.55 \cdot 10^{-11} s^5 + 2.84 \cdot 10^{-8} s^4 + 3.28 \cdot 10^{-5} s^3 + 4.17 \cdot 10^{-3} s^2 + 0.12s + 1}.$$

Визначення АФЧХ розімкненої системи проводимо із застосуванням прикладної програми, головний інтерфейс з введеними даними, що відповідають передатній функції, представлений на рис.4.

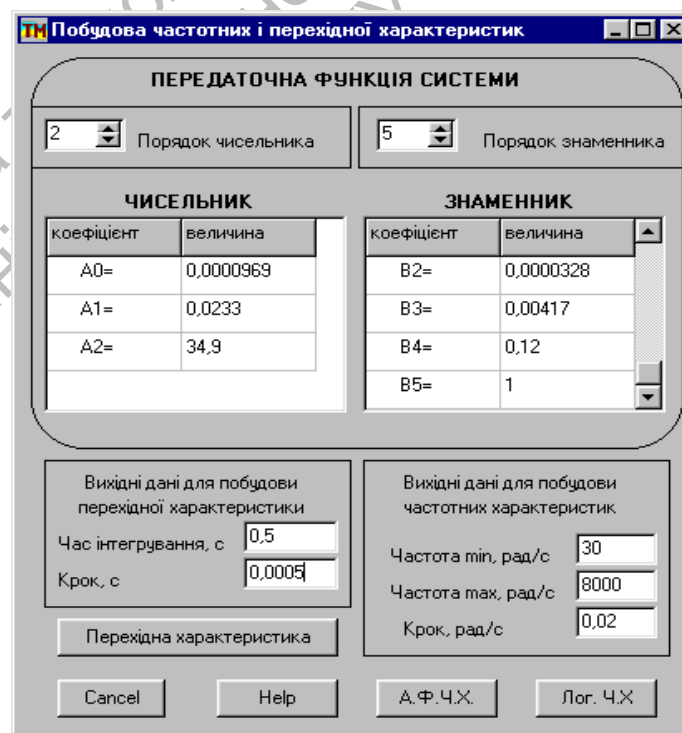


Рис.4. Головний інтерфейс прикладної програми

Моделювання за допомогою прикладної програми, дозволило побудувати графік АФЧХ розімкненої системи (план Найквіста), який зображений на рис.5, а.

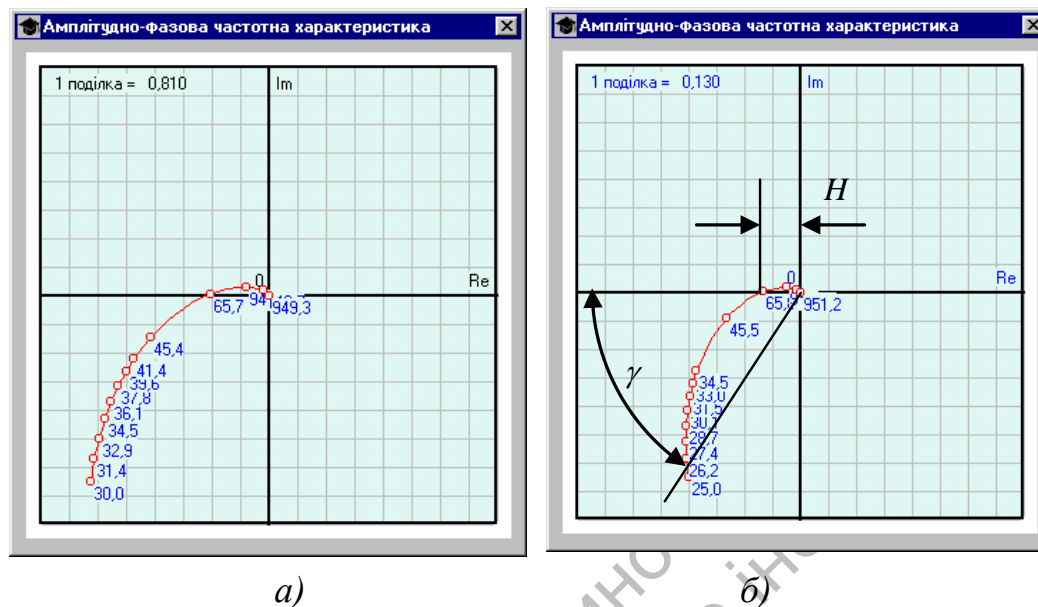


Рис.5. Плани Найквіста для дослідження сталості системи:

Аналіз показує, що система з вибраним значенням коефіцієнта підсилення першого електронного підсилювача є нестійкою, оскільки графік її АФЧХ в розімкненому стані охоплює критичну точку з координатами $[-1.0]$. Зменшивши коефіцієнт до $k_{enl}=50$, розраховуємо передаточну функцію розімкненої системи із зміненим коефіцієнтом і знов проводимо моделювання. Результати (рис. 4.5, б) свідчать про сталість САУ. Запас сталості за амплітудою $-L_1 = 20 \lg(1/H) = 20 \lg(1/0.175) = 5.2 \text{ дБ}$, запас сталості за фазою $\gamma = 50^\circ$. Такі величини показників сталості (за амплітудою) недостатні для задовільної роботи системи на практиці, однак, для навчальних цілей можна обмежитися вибраним значенням коефіцієнта підсилення.

Для побудови перехідної характеристики необхідно розрахувати передатну функцію САУ в замкненому, тобто робочому стані. Користуючись правилами перетворення структурних схем, знаходимо:

$$W_{\text{NAO}}(s) = \frac{4.32 \cdot 10^{-4} s^3 + 1.11 \cdot 10^{-3} s^2 + 1.57 s + 25.91}{1.68 \cdot 10^{-11} s^5 + 6.33 \cdot 10^{-9} s^4 + 7.3 \cdot 10^{-6} s^3 + 9.32 \cdot 10^{-4} s^2 + 2.73 \cdot 10^{-2} s + 1}$$

Результати моделювання за допомогою прикладної програми представлені на рис.6.

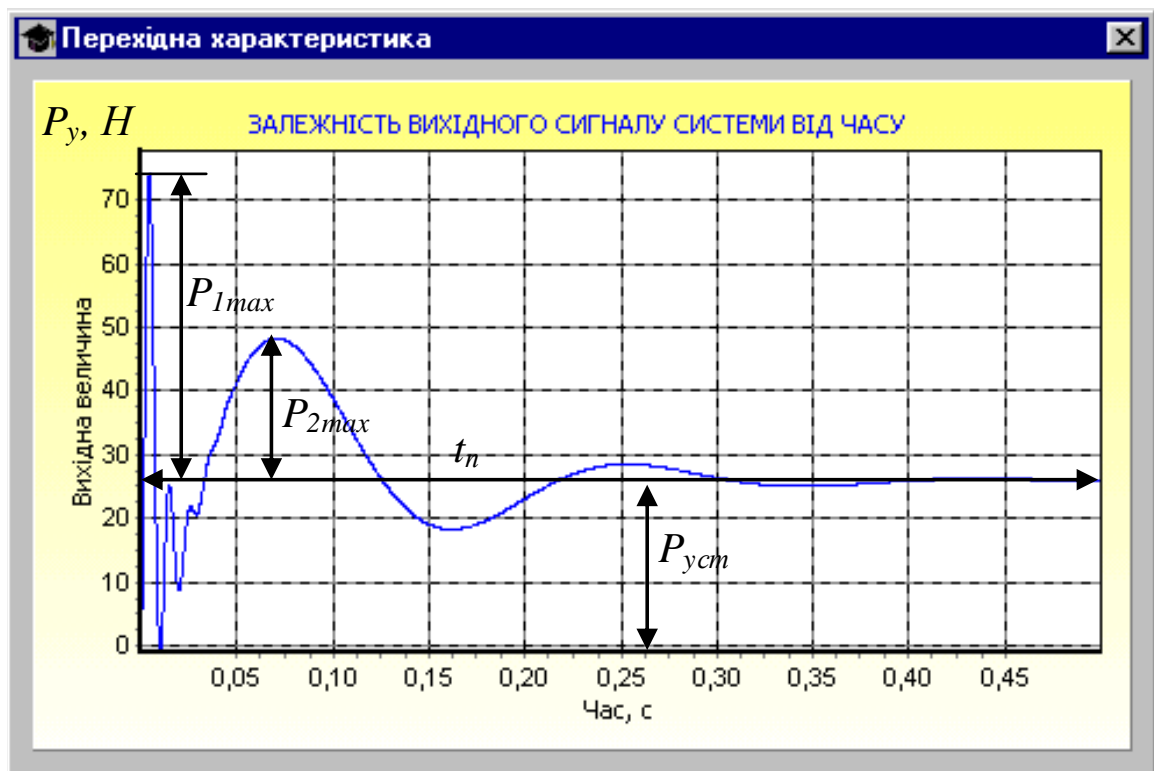


Рис.6. Графік перехідної характеристики САУ

Вихідною величиною за перехідною характеристикою є складова P_y сили різання. Очевидно, що система стабілізує силу різання на рівні, відповідному $P_y=26 \text{ Н}$. Однак, як і слід було очікувати з аналізу плану Найквіста, якість перехідного процесу не може вважатися задовільною.

Очевидною є наявність двох основних гармонік у перехідній кривій. Перша, високочастотна, зобов'язана своєю появою вільним коливанням технологічної пружної системи, що характеризується за прийнятими вихідними даним низьким коефіцієнтом затухання коливань ($\xi=0.2$). Друга складова подає реакцію самої системи регулювання на східчастий сигнал. За перехідною характеристикою можуть бути визначені всі показники якості регулювання (див рис.6):

- ✓ час перехідного процесу (швидкодія) $t_n=0,5 \text{ с}$;
- ✓ відносне перерегулювання $\sigma = \frac{P_{1\max}}{P_{\text{од}}} 100\% = 185\%$;

✓ затування за період $\zeta = \frac{P_{1\max} - P_{2\max}}{P_{1\max}} 100\% = 54\%$.

6. ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Теория автоматического управления технологическими системами. Учебное пособие для вузов / М.: Машиностроение, 2008. – 336 с. + CD.
2. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Київ.: УкрНДІАТ, 2004. – 383 с. + CD.
3. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М.Соломенцев, В.Г.Митрофанов, С.П.Протопопов и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.
4. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования.- М.: Наука, 1975.-768 с.
5. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебное пособие для вузов.- М.: Машиностроение, 1985.- 536 с.
6. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: Навч. Посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 212 с.
7. Петраков Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторно-комп'ютерного практикуму з дисципліни «Теорія автоматичного управління технологічними системами», Політехніка, Київ.-2005.-40с.
8. Петраков Ю.В. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія автоматичного управління технологічними системами», Політехніка, Київ.-2007.-42с.

Додаткова:

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем.- М.: Машиностроение, 1978.- 736 с.
2. Интерактивная система автоматизированной подготовки программ для станков с ЧПУ / Ю.Н.Камаев, Ю.В.Шевчук, С.Ю.Плотников и др.– К.: Техніка, 1992.- 142 с.
3. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках.- Л.: Машиностроение, 1980.- 184 с.
4. Палк К.И. Системы управления механической обработкой на станках.- Л.: Машиностроение, 1984.-178 с.

5. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с.
6. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. - Либідь, 1997. – 544 с.

Кафедра технології машинобудування
Механіко-машинобудівного інституту
НТУУ КПІ