

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор Дніпропетровського національного  
університету імені Олеся Гончара

\_\_\_\_\_ проф. Поляков М.В.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 р.

**ПРОГРАМА ВСТУПНИХ ІСПИТІВ ДО АСПРАНТУРИ**  
**за спеціальністю**  
**173 Авіоніка**

**Дніпро – 2017**

## 1 Теорія лінійних систем автоматичного управління (САУ)

Склад і принцип дії САУ, основні вимоги, математичні моделі. Стандартна форма запису рівняння ланки.

Перетворення Лапласа і його властивості. Види зовнішніх сигналів та їх зображення за Лапласом. Передатна, вагова і перехідна функції ланки. Частотні характеристики (ЧХ). Логарифмічні ЧХ.

Класифікація ланок САУ. Передатні функції типових ланок. Передатна функція послідовного і паралельного з'єднань. Система з місцевим зворотним зв'язком. Загальний коефіцієнт підсилення розімкнутої САУ. ЧХ розімкнутої САУ. Структурні перетворення. Передатні функції замкнутої системи. Розрахунок перехідного процесу в САУ з використанням перетворення Лапласа.

Поняття стійкості САУ. Вимога до розташування коренів характеристичного рівняння. Необхідна умова стійкості. Критерії Гурвіца, Михайлова і Найквіста. Визначення стійкості через логарифмічні ЧХ. Побудова областей стійкості методом D-розбиття на площині двох параметрів. Методи підвищення запасу стійкості.

Точність у типових режимах. Постійні помилки. Астатичні системи. Точність при гармонічному вхідному сигналі. Стала помилка при довільному вхідному сигналі. Коефіцієнти помилок. Методи підвищення точності САУ.

Вимоги до якості перехідного процесу. Частотні оцінки якості: запас стійкості за амплітудою і фазою; визначення тривалості перехідного процесу і перерегулювання; показник коливальності. Кореневі оцінки якості. Вимоги до розташування нулів і полюсів передатної функції замкнутої системи з погляду якості перехідного процесу. Інтегральні оцінки. Формування бажаної логарифмічної ЧХ за вимогами точності і якості перехідного процесу.

Постановка задачі корекції САУ. Види коригувальних пристроїв (послідовні, паралельні з урахуванням зовнішнього сигналу). Інваріантність. Неоднорічний головний зворотній зв'язок. Синтез послідовного і паралельного коригувального пристрою. Кореневі методи синтезу коригувальних пристроїв.

Системи з запізненням, ЧХ і стійкість.

Метод простору стану. Рівняння ланок та систем у просторі стану. Структурні схеми рівнянь стану. Багатовимірні САУ. Стандартна форма рівнянь. Аналіз САУ в просторі станів. Перехідна матриця – матрична експонента. Методи обчислення матричної експоненти: прямий метод зворотного перетворення Лапласа; використання формули Сільвестра; обчислення за допомогою степеневих рядів. Матрична передатна, вагова та перехідна функції, їх використання для розрахунку перехідних процесів. Алгоритм Левера для обчислення матричної передатної функції. Заміна базису. Канонічна форма рівнянь. Спектральне представлення матричної експоненти.

Керованість та спостережуваність, теореми Калмана. Декомпозиція системи рівнянь. Структурна теорема Калмана. Розміщення власних чисел та стабілізація. Модальне управління. Оцінка стану. Стабілізуючий зворотний зв'язок за спостереженнями виходу. Якість стабілізації та розміщення власних

чисел. Інтегральний показник якості, його мінімізація; вибір критерію якості; ступінь стійкості.

## **2 Теорія нелінійних систем автоматичного управління**

Поняття нелінійних САУ. Структурні властивості САУ з однією нелінійністю. Види нелінійних ланок та їхні основні характеристики. Рівняння нелінійних ланок та систем; особливості процесів в цих системах.

Метод фазового простору. Типи особливих точок та фазові портрети лінійних і нелінійних систем. Система з ковзним режимом. Метод точкових перетворень. Основні положення методу гармонічної лінеаризації, обчислення її коефіцієнтів.

Еквівалентні передатні функції та амплітудно-фазові ЧХ нелінійних ланок. Аналіз симетричних автоколивань алгебраїчним і частотним способами. Умови наявності та стійкості автоколивань.

Визначення стійкості САУ за Ляпуновим. Поняття про знаковизначені, знакопостійні та знаконевизначені функції. Функція Ляпунова та її похідна. Прямий метод Ляпунова. Теорема Ляпунова про стійкість та нестійкість. Критерій абсолютної стійкості Попова.

## **3 Цифрові системи автоматичного управління**

Цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі, їх призначення в цифрових САУ. Загальна характеристика цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП). Схема ЦАП з додавання струмів і резистивною матрицею. Загальна характеристика аналого-цифрових перетворювач (АЦП). Послідовний, паралельний і послідовно-паралельний АЦП. АЦП з часово-імпульсною модуляцією.

Реакція лінійного об'єкта управління (ОУ) на імпульсні сигнали. Імпульсний елемент. Вихідний сигнал ОУ. Ненульові початкові умови. Ідеальний імпульсний елемент. Імпульсна характеристика розімкненої САУ. Рівняння розімкненої імпульсної системи через номінал імпульсу. Замкнута імпульсна САУ та її перехідна функція.

Дискретне перетворення Лапласа і  $Z$  – перетворення. Зображення типових сигналів, теорема про множення оригіналу, запізнення і зміщення. Початкове і кінцеве значення оригіналу. Зображення різниці решітчастої функції, суми за певну кількість тактів і згортки двох функцій. Оригінал зображення у вигляді дробово-раціональної функції.

Дискретна передатна функція. Коефіцієнти передачі АЦП та ЦАП. Екстраполятор нульового порядку. Структурна схема цифрової САУ з екстраполятором. Дискретна передатна функція ЕОМ і замкненої цифрової САУ. Розрахунок перехідного процесу.

Динамічні характеристики цифрових САУ. Умови стійкості на комплексній площині  $Z$ ,  $w$  – перетворення. ЧХ цифрових САУ, їхній зв'язок з дискретною передатною функцією. Тривалість перехідного процесу і похибки управління.

Синтез цифрового регулятора. Порядок знаменника передатної функції ЕОМ. ОУ першого другого і третього порядку.

Метод простору станів в теорії цифрових САУ. Структура дискретної автоматичної систем Рівняння і перехідна матриця стану.

#### **4 Теорія оптимального управління**

Формулювання задачі оптимального управління технічними системами (програмне та зворотним зв'язком), вибір критеріїв.

Побудова оптимальних програм класичного варіаційного числення. Найпростіша варіаційна задача, рівняння Ейлера. Варіаційні задачі Лагранжа, Больца і Майера, метод множників Лагранжа, рівняння Ейлера-Пуассона.

Варіаційні задачі з векторними змінними. Задачі з рухомими кінцями. Умова трансверсальності. Задачі зі змінним часом, умови стаціонарності. Умова Лежандра. Ізопериметрична задача.

Задача Лагранжа у формі Понтрягіна, керований процес. Принцип максимуму Понтрягіна.

Лінійні задачі оптимального управління, теорема про  $n$  інтервалів. Задача максимальної швидкодії. Чисельні методи розв'язку задач оптимального управління.

Синтез оптимальних САУ (аналітичне конструювання регуляторів). Лінійно-квадратичні САУ. Матричне рівняння Рікатті і методи його розв'язку.

Динамічне програмування як метод розв'язку задачі синтезу систем з оптимальним зворотним зв'язком. Дискретне рівняння Белмана. Неперервне рівняння Белмана. Зв'язок принципу максимуму і динамічного програмування.

Прокляття розмірності, квазіоптимальні системи. Оптимізація в умовах невизначеності. Принцип розділення.

Оптимальна лінійна фільтрація, фільтр Калмана. Оптимальні імпульсні і цифрові системи. Адаптивні та екстремальні САУ. Методи пошуку екстремуму.

Методи ідентифікації об'єктів управління. Принципи побудови непошукових і частотних методів ідентифікації. Ідентифікація за допомогою моделі, що настроюється. Структурна схема з адаптивним спостерігачем.

#### **5 Динаміка, балістика та управління рухом ракет і космічних апаратів**

Основи механіки тіл змінної маси. Рівняння Мещерського та формула Цюлковського.

Системи координат (СК), в яких описують рух ракети: геодезична, географічна, поточна, стартова, початкова стартова, зв'язана з корпусом ракети та зіркова.

Сили, що діють на ракету в польоті: тяги, гравітаційна (плоска, сферична та еліпсоїдна моделі Землі), аеродинамічна та газореактивна. Швидкісний натиск та аеродинамічні коефіцієнти. Аеродинамічний момент, демпфіруючий момент. Сили і моменти органів управління.

Рівняння руху центра мас ракети як твердого тіла: векторна форма у зірковій СК, позірне прискорення ракети. Матриці переходу і характерні кути (азимут пуску, тангаж, рискання, крен, атаки і ковзання). Кінематичні

параметри ракети у географічній СК (широта, довгота). Основні ділянки траєкторії. Управління рухом центра мас, типова програма тангажа. Функціональний і термінальний методи наведення.

Обертальний рух корпусу ракети, як твердого тіла у трьох площинах, рівняння руху у площині рискання.

Вплив на рух ракети коливань вільної поверхні у баках палива та кінцевої жорсткості корпусу.

Канали стабілізації руху ракети. Закон управління в каналах рискання та зміщення центра мас ( $\psi$ ,  $z$ ) у боковій площині. Амплітудна і фазова ЧХ автомата стабілізації руху з урахуванням його інерції. Область стійкості системи стабілізації руху ракети в каналах  $\psi$ ,  $z$  на площині параметрів закону управління (коефіцієнти при  $\psi$  та  $\dot{\psi}$ ) з урахуванням інерції автомата стабілізації.

Космічні комплекси, їх призначення та оцінка ефективності.

Рівняння руху космічного апарату (КА) в центральному гравітаційному полі. Інтеграл енергії, площ та Лапласа, зв'язок між ними. Параметри орбіти, залежність її поточного радіуса від істинної аномалії. Швидкість КА, рівняння Кеплера.

Визначення параметрів орбіти шляхом вимірів з наземного пункту. Топоцентрична СК, її зв'язок з географічною, зірковою та геоцентричною орбітальною.

Зона покриття і фактори, що визначають її розміри.

Прискорення КА в результаті відхилення гравітаційного поля Землі від центрального, тяжіння Сонця та Місяця, світлового тиску і аеродинамічного опору (радіальна, трансверсальна та бінормальна складові), їхній вплив на параметри орбіти.

Диференційні рівняння обертального руху КА. Поворот КА на кінцевий кут навколо однієї осі, його швидкість і витрати палива. Особливості використання двигунів-маховиків.

Побудова низькоорбітального угруповання КА шляхом відокремлення субсупутника (СС) від основного супутника (ОС). Параметри орбіт СС і ОС, відстань між ними. Міжкорекційний інтервал. Побудова групи з використанням рушійної установки СС.

### Рекомендована література:

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.
2. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1989.
3. Теория автоматического управления. Ч.1 / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1985.
4. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986.

5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976.
6. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / Под ред. В.А. Бессекерского. – М.: Наука, 1978.
7. Мороз Ю.І. Конспект лекцій з курсу "Сучасні методи автоматичного керування": Навч. посіб. – Д.: РВВ ДДУ, 2000.
8. Авдеев В.В. Алгоритмы модального управления: Учеб. пособие. – Днепропетровск, 1989.
9. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1973.
10. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988.
11. Теория автоматического управления. Ч.2 / Под ред. А.А.Воронова. – М.: Высшая школа, 1986.
12. Бессекерский В.А. Цифровые автоматические системы. – М.: Наука, 1976.
13. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем. – М.: Наука, 1983.
14. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1970.
15. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984.
16. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. – М.: Наука, 1969.
17. Ли З.В., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. – М.: Наука, 1971.
18. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. и др. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1983.
19. Герасюта Н.Ф., Новиков А.В., Белецкая Н.Г. Динамика полета. – Д., 1998.
20. Лебедев А.А., Герасюта Н.Ф. Баллистика ракет. – М.: Машиностроение, 1970.
21. Управление и навигация искусственных спутников Земли на околокруговых орбитах / М.Ф. Решетнев, А.А. Лебедев, В.А. Бартенев и др. – М.: Машиностроение, 1988.
22. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. – М.: Наука, 1990.
23. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1974.
24. Бебенин Г.Г., Скребушевский Б.С., Соколов Г.А. Системы управления полетом космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1978.
25. Основы теории полета и элементы проектирования искусственных спутников Земли / Под ред. М.К. Тихонравова. – М.: Машиностроение, 1974.
26. Авдеев В.В. Розрахунок орбіт і трас навколосемних супутників: Навч. посіб. – Д.: РВВ ДДУ, 2001.

27. Авдеев В.В. Побудова низькоорбітальної групи із двох космічних апаратів: Навч. посіб. – Д.: РВВ ДНУ, 2002.

28. Космические летательные аппараты. Введение в ракетно-космическую технику: Учеб. пособие с грифом МОНУ // Ю.Ф. Даниев Ю.Ф., А.В. Демченко, В.С. Зевако, А.М. Кулабухов, В.В. Хуторный; Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А.Н. Петренко. – Д.: АРТ-ПРЕС, 2007.