

Національна Академія наук України
Державне космічне агентство України
Інститут технічної механіки



ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з наукової
роботи д-р техн. наук, професор

Володимир ПОШИВАЛОВ

14.09.2023

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 2.3 Дослідна практика

здобувачів освітньо-наукового рівня доктора філософії зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

рівень освіти _____ третій (освітньо-науковий)

галузь знань _____ 15 Автоматизація та приладобудування

спеціальність, напрямок _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

освітня програма- _____ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в

ракетно-космічній техніці

факультет/центр _____ Аспірантура ІТМ НАНУ і ДКАУ, відділ № 9

вид дисципліни _____

обов'язкова

(обов'язкова/вибіркова)

Робоча навчальна програма дисципліни «Дослідна практика» складена на основі освітньо-кваліфікаційної характеристики та освітньо-професійної програми підготовки аспірантів фахового напрямку «151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Розробник: Фоков Олександр Анатолійович, к.т.н., ст. наук. співроб., ст. наук. співроб. відділу системного аналізу та проблем керування (відділ № 9).

*Робоча навчальна програма розглянута
на семінарі відділу № 9: протокол № 4 від 06.09.2023*

Завідувач відділу № 9 _____ Алпатов А. П.

2023

1. Мета дисципліни. Метою дисципліни "Дослідна практика" є ознайомлення здобувача зі станом досліджень, що виконуються в інституті за тематикою вивчення руху систем космічних тіл (апаратів) та отримання навиків самостійної роботи при виконанні наукової діяльності.

2. Завдання вивчення дисципліни. Ознайомитись з особливостями постановки задач досліджень, розробки модельних задач, робочих схем, математичних моделей, проведенні числових досліджень щодо класу систем взаємного позиціонування космічного апарата й корисного навантаження та щодо задач динаміки відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта орбітального сервісу на прикладі видалення космічного сміття за технологією "пастух з іонним променем".

3. Попередні вимоги до оволодіння або вибору навчальної дисципліни. Для успішного вивчення курсу достатньо базових знань вищої математики, теоретичної механіки, аналітичної механіки.

4. Результати навчання за дисципліною та їх співвідношення із програмними результатами навчання. Знання з особливостей проведення досліджень з динаміки навколоземних космічних систем

5. Розподіл навчальних годин, семестр 3

Форма навчання	Денна
Курс	2
Усього за навчальним планом, (годин)	90
<i>Аудиторні заняття, годин:</i>	30
- лекції	
- лабораторні	
- практичні (семінарські)	30
<i>Самостійна робота, годин:</i>	60
- підготовка до лекції	
- підготовка до лабораторних робіт	
- підготовка до практичних занять	60
- підготовка до домашніх завдань	
- опрацювання тем, які не викладаються на лекціях	
- підготовка до комплексної контрольної роботи (іспит)	
<i>Виконання індивідуальних завдань, годин:</i>	
- рефератів, аналітичних оглядів, есе та ін.	

- розрахункових, графічних, розрахунково-графічних робіт	
- курсових робіт (проектів)	
<i>Контрольні заходи, годин:</i>	4
- підсумковий контроль	Залік

6. Структура навчальної дисципліни.

4 семестр

Форма навчання денна.

6.1. Зміст тем дисципліни.

Розділ 1. Динаміка класу систем взаємного позиціонування космічного апарата і корисного навантаження. Модельні задачі.

Тема 1.1. Особливості класу систем взаємного позиціонування КА й корисного навантаження. Поняття модельної задачі (2 години).

Характеристики бортових транспортних маніпуляційних систем. Особливості системи "орбітальний корабель з бортовим маніпулятором - корисне навантаження" як об'єкта керування. Вимоги до моделей динаміки з точки зору синтезу регулятора та повноти врахування механічних властивостей маніпулятора. Ієрархічна послідовність моделей динаміки системи, їх характеристики та призначення; поняття опорної конфігурації, причини введення цього поняття та його призначення. Призначення маніпуляційних механізмів паралельної кінематики в системі «космічний апарат - механізм взаємного позиціонування - корисне навантаження». Методи побудови математичних моделей. Поняття модельної задачі та їх призначення.

Тема 1.2. Модельна задача для дослідження динаміки систем позиціонування з маніпуляційним механізмом послідовної кінематики (4 години).

Виведення рівнянь заданої плоскої механічної системи за допомогою рівнянь Лагранжу. Отримання рівнянь руху даної механічної системи для випадку відсутності зовнішніх сил і моментів. Створення комп'ютерної моделі руху системи. Наявність коливань по внутрішньому ступеню свободи при відсутності керуючого моменту при ненульових початкових умовах.

Тема 1.3. Модельна задача для дослідження динаміки системи взаємного позиціонування, що містить маніпуляційний механізм паралельної структури. Спрощена модельна задача (неврахування руху основи) (2 години).

Кінетична енергія системи.. Складові виразу кінетичної енергії механічної системи та вигляд їх виразу у випадку стаціонарних зв'язків (тобто коли у виразі декартових координат через узагальнені координати час явно не входить). Поняття оператора Ейлера (ейлерів оператор) при виводі рівнянь Лагранжу другого роду. Вираз оператора Ейлера для складової кінетичної енергії системи, до якої віднесені члени, квадратичні відносно узагальнених швидкостей. Переваги і недоліки спрощеної модельної задачі.

Тема 1.4. Розвиток спрощеної модельної задачі. Випадок рухомої в інерціальному просторі основи (4 години).

Кінетична енергія системи при відносному русі. Отримання виразів для оператора Ейлера. для складових кінетичної енергії: що не залежить від

узагальнених швидкостей; лінійної щодо узагальнених швидкостей; однорідної квадратичної форми узагальнених швидкостей. Відмінність розвинутої модельної задачі від спрощеної.

Розділ 2. Динаміка відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта орбітального сервісу. Технологія "пастух з іонним променем"

Тема 2.1. Орбітальний сервіс. Світові тенденції розвитку (2 години).

Концепція орбітального сервісу космічних апаратів. Сервісний космічний апарат. Множина операцій з виконання завдань орбітального сервісу. Забезпечення необхідного відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта сервісу. Операції видалення космічного сміття.

Тема 2.2. Технологія "пастух з іонним променем". Класична схема (2 години).

Проблема засмічення навколосемного простору. Відомі методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколосемних орбіт. Технологія видалення космічного сміття "пастух з іонним променем".

Тема 2.3. Розрахунок силової дії на об'єкт космічного сміття з боку факела іонного потоку електрореактивного двигуна (2 години).

Існуючі моделі взаємодії іонного потоку з об'єктом космічного сміття (мішень). Розрахунок сили й моменту, що передані мішені іонним потоком користуючись методом інтегрування по поверхні мішені. Розрахунок сили й моменту, що передані мішені іонним потоком методом спрощеного визначення сили дії факелу електрореактивного двигуна на орбітальний об'єкт.

Тема 2.4. Математична модель для дослідження взаємного руху сервісного апарата і об'єкта космічного сміття (6 годин).

Системи координат, необхідні для опису взаємного руху сервісного апарата і об'єкта космічного сміття. Різниця в описі кутового положення пастуха і кутового положення мішені. Аналіз використовуваних динамічних рівнянь Ейлера та кінематичних співвідношень. Припущення прийняті для проведення попередньої оцінки можливості використання спрощеного підходу до визначення дії факелу стосовно до керування відносним рухом мішені. Модель поступального руху пастуха і мішені при прийнятих припущеннях.

Тема 2.5. Технологія "пастух з іонним променем". Схема з аеродинамічним компенсатором (2 години).

Модифікація класичної схеми технології "пастух з іонним променем". Припущення при розрахунку витрати робочого тіла. Розрахунок витрати робочого тіла додатковим ЕРД при використанні аеродинамічного компенсатора і без нього.. Дослідження доцільності використання аеродинамічного компенсатора.

6.2. Розподіл навчальних годин по темам.

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин				Примітки			
		лекції	Практичні	Лабораторні заняття	Самостійна робота				
3 семестр									
<i>Розділ 1. Динаміка класу систем взаємного позиціонування космічного апарата і корисного навантаження. Модельні задачі.</i>									
1	<p>Тема 1.1. Особливості класу систем взаємного позиціонування КА й корисного навантаження. Поняття модельної задачі.</p> <p><i>Самостійно.</i> Ознайомитись зі змістом статей [1.1, 1.2]. Звернути увагу на: характеристики бортових транспортних маніпуляційних систем; особливості системи "орбітальний корабель з бортовим маніпулятором - корисне навантаження" як об'єкта керування; вимоги до моделей динаміки з точки зору синтезу регулятора та повноти врахування механічних властивостей маніпулятора. Ознайомитись зі змістом статті [1.3]. Звернути увагу на: ієрархічну послідовність моделей динаміки системи, їх характеристику та призначення; поняття опорної конфігурації, причини введення цього поняття та його призначення. Ознайомитись зі змістом статей [1.4, 1. 5]. Звернути увагу на призначення маніпуляційних механізмів паралельної кінематики в системі «космічний апарат - механізм взаємного позиціонування - корисне навантаження». Ознайомитись зі змістом параграфу 1.5 "Методи побудови математичних моделей" книги [1.6]. Звернути увагу на поняття модельної задачі та їх призначення.</p>		2		6				
2	<p>Тема 1.2. Модельна задача для дослідження динаміки систем позиціонування з маніпуляційним механізмом послідовної кінематики.</p> <p><i>Самостійно.</i> Ознайомитись зі змістом статті [1.5]. Скориставшись рівняннями Лагранжу другого роду вивести рівняння руху заданої плоскості</p>		4		8				

	<p>механічної системи. Отримати рівняння руху даної механічної системи для випадку відсутності зовнішніх сил і моментів. Створити комп'ютерну модель руху системи та продемонструвати наявність коливань по внутрішньому ступеню свободи при відсутності керуючого моменту при ненульових початкових умовах.</p>							
3	<p>Тема 1.3. Модельна задача для дослідження динаміки системи взаємного позиціонування з маніпуляційним механізм паралельної структури. Спрощена модельна задача (неврахування руху основи)</p> <p><i>Самостійно.</i> асвоїти матеріал параграфа 4.1. "Кінетична енергія системи" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на складові виразу кінетичної енергії механічної системи та на вигляд виразу у випадку стаціонарних зв'язків (тобто коли у вирази декартових координат через узагальнені координати час явно не входить). Засвоїти матеріал параграфа 7.1. "Виведення диференціальних рівнянь Лагранжу другого роду" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на поняття оператора Ейлера (ейлерів оператор). Засвоїти матеріал параграфа 7.4. "Явна форма рівнянь Лагранжу" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на вираз оператора Ейлера для складової кінетичної енергії системи, до якої віднесені члени, квадратичні відносно узагальнених швидкостей. Перелічити переваги і недоліки спрощеної модельної задачі..</p>	2		6				
4	<p>Тема 1.4. Розвиток модельної задачі для дослідження динаміки системи взаємного позиціонування з маніпуляційним механізм паралельної структури. Випадок рухомої в інерціальному просторі основи.</p> <p><i>Самостійно.</i> Засвоїти матеріал параграфа 4.9. "Кінетична енергія системи при відносному русі" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на складові виразу кінетичної енергії механічної системи. Отримати вираз для</p>	4		9				

	<p>складової кінетичної енергії переносного руху системи, що є однорідною квадратичною формою узагальнених швидкостей. Отримати вираз для складової кінетичної енергії переносного руху системи, що не залежить від узагальнених швидкостей. Отримати вираз для складової кінетичної енергії переносного руху системи, що не залежить від узагальнених швидкостей. Отримати вирази для оператора Ейлера над цими складовими. Визначити, в чому полягає відмінність розвинутої модельної задачі від спрощеної.</p>								
5	<p>Підсумкове заняття за розділом 1 Самостійно. Перелічити модельні задачі класу систем взаємного позиціонування космічного апарата й корисного навантаження, що були розглянуті при освоєнні теми 1, та визначити їх призначення. Визначити які припущення були зроблені під час розробки розглянутих модельних задач. Визначити область застосування розроблених модельних задач.</p>		2		1				
<p>Розділ 2. Задачі динаміки відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта орбітального сервісу на прикладі технології "пастух з іонним променем".</p>									
6	<p>Тема 2.1. Орбітальний сервіс. Світові тенденції розвитку. Самостійно. Ознайомитись з оглядом інженерних розробок з орбітального сервісу [2.1]. Звернути увагу на другий "Developments of regular-scale spacecraft in the area of the OOS" та шостий "Future of the OOS of spacecraft" розділи огляду. На основі огляду [2/1] сформулювати тенденції розвитку розробок з проблеми орбітального сервісу. Знайти літературу з проблеми засмічення навколоземного простору, прояснити в чому вона полягає.</p>		2		3				
7	<p>Тема 2.2. Технологія "пастух з іонним променем". Класична схема. Самостійно. вивчити інформацію про відомі методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколоземних орбіт за матеріалами літератури, що наведена нижче. Засвоїти матеріал статей [2.3], [2.4]. Прояснити в чому полягає метод відведення космічного сміття за технологією "пастух з іонним променем".</p>		2		4				
8	<p>Тема 2.3. Розрахунок силової дії на об'єкт космічного сміття</p>		2		12				

	<p>з боку факела іонного потоку. електрореактивного двигуна.</p> <p><i>Самостійно</i> За допомогою статей [2.6], [2.7], [2.8] ознайомитись з моделями взаємодії іонного потоку з об'єктом космічного сміття. Освоїти алгоритм розрахунку сили й моменту, що передані мішені іонним потоком, користуючись методом інтегрування по поверхні. Прояснити в чому полягає метод спрощеного визначення сили дії факела електрореактивного двигуна на орбітальний об'єкт. За допомогою статті [2.9] охарактеризувати погрішності спрощеного підходу. Освоїти алгоритм розрахунку сили й моменту, що передані мішені іонним потоком, користуючись спрощеним підходом.</p>							
9	<p>Тема 2.4. Математична модель для дослідження взаємного руху сервісного апарата і об'єкта космічного сміття.</p> <p><i>Самостійно.</i> Засвоїти матеріал розділу 2.4 Темі 2 навчального контенту. Яким чином можна провести вивчення можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Охарактеризувати системи координат, що використовуються для моделювання руху системи "пастух - мішень". Звернути увагу на різницю в описі кутового положення пастуха і кутового положення мішені. Чим вона обумовлена. За допомогою джерел [2.12], [2.13], [2.14] проаналізувати динамічні рівняння Ейлера та за допомогою джерела [2.10] проаналізувати кінематичні співвідношення. Охарактеризувати припущення прийняті для проведення попередньої оцінки можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела стосовно до керування відносним рухом мішені.</p>		6		6			
10	<p>Тема 2.5. Технологія "пастух з іонним променем". Схема з аеродинамічним компенсатором. Засвоїти матеріал підрозділу 2.5 Темі 2 навчального контенту. Пояснити в чому полягає модифікація класичної схеми технології "пастух з іонним променем" відведення космічного сміття з робочих орбіт космічних апаратів.. Описати найпростіший алгоритм керування відносним рухом пастуха і мішені. Яким чином можна визначити доцільність використання модифікованої схеми</p>		2		4			

	<i>технології "пастух з іонним променем". Які спрощувальні припущення можна зробити при розрахунку витрат робочого тіла додатковим електрореактивним двигуном. Описати послідовність дій при розрахунку витрат робочого тіла додатковим електрореактивним двигуном. Які висновки можна зробити щодо доцільності використання модифікованої схеми технології "пастух з іонним променем"</i>								
	Підготовка до заліку		2		1				
	Всього		30		60				

7. Схема формування оцінки.

7.1. Шкала відповідності оцінювання.

Оцінка	Зараховано / Не зараховано	Бали
Відмінно	Зараховано	90-100
Добре		82-89
		75-81
		64-74
Задовільно		60-63
Незадовільно	Не зараховано	0-59

7.2. Форми та організація оцінювання.

Поточне оцінювання.

Форма оцінювання	Терміни оцінювання (тиждень)	Максимальна кількість балів
Контрольне тестування за темами		
Оцінювання рівня виконання завдань для самостійної роботи		
Залік	семестр	100
Максимальна кількість балів за поточне оцінювання 100		

8. Рекомендована література.

Література для засвоєння матеріалу розділу 1

1.1. Алпатов А. П. Перспективы использования и особенности исследования динамики космических манипуляторов с упругими конструктивными элементами / А. П. Алпатов, П. А. Белоножко, П. П. Белоножко, Л. К. Кузьмина, С. В. Тарасов, А. А. Фоков // Техническая механика. – 2012. – № 1. – С. 82 – 93.

1.2. Моделирование динамики космических манипуляторов на подвижном основании / А. П. Алпатов, П. А. Белоножко, П. П. Белоножко, С. В. Григорьев, С. В. Тарасов, А. А. Фоков // Робототехника и техническая кибернетика. – №1. – 2013. – С. 61-65

1.3. Алпатов А.П. Особенности синтеза системы управления космическим манипулятором / А.П. Алпатов, П.А. Белоножко, П.П. Белоножко, С.В. Тарасов, А.А. Фоков // Международный Российско-Американский научный журнал "Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах", КНИТУ-КАИ, Казань. – 2012. – Т.18, №2 (38). – С. 80-92.

1.4. Артеменко Ю.Н. Использование механизмов параллельной структуры для взаимного позиционирования полезной нагрузки и космического аппарата / Ю.Н. Артеменко, П.П. Белоножко, А.П. Карпенко, С.Н. Саяпин, А.А. Фоков // Робототехника и техническая кибернетика. – №1. – 2013. – С. 65-71

1.5. Артеменко Ю. Н. Исследование особенностей наведения массивной полезной нагрузки при помощи космического манипулятора с учетом подвижности основания в режиме отсутствия внешних сил. / Ю. Н. Артеменко, П. П. Белоножко, А. П. Карпенко, А. А. Фоков // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 682 – 704.

1.6. Алпатов А. П., Белецкий В. В., Драновский В. И., Закржевский А. Е., Пироженко А. В., Трогер Г., Хорошилов В. С. Ротационное движение космических тросовых систем. Днепропетровск: Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2001. 404 с.

1.7. Демидов С. М. Разработка и анализ механизмов параллельной структуры, предназначенных для манипулирования антеннами космических телескопов. Вестник научно-технического развития. 2013. № 4(68). С. 3 – 7.

1.8. Merlet J.-P. Parallel Robots. Dordrecht. The Netherlands: Springer, 2006. 394 с.

1.9. Лурье А. И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 824 с.

Допоміжна література

1.10. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. К: Техніка. 2002, 510 с.

1.11. Янгүлова О. Л. Теоретична механіка. Аналітична механіка: навч. посіб. / Дніпров. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпро: ДНУЗТ, 2019. - 76 с.

Література для засвоєння матеріалу розділу 2

2.1. On-orbit service (OOS) of spacecraft: A review of engineering developments / Wei-Jie Li, Da-Yi Cheng, Xi-Gang Liu, Yao-Bing Wang, Wen-Hua Shi, Zi-Xin Tang, Feng Gao, Fu-Ming Zeng, Hong-You Chai, Wen-Bo Luo, Qiang Cong, Zhen-Liang Gao // Progress in Aerospace Sciences. – 2019. – Vol. 108. – P. 32–120.

2.2. Васмльев В. В. Введение в орбитальное сервисное обслуживание. – Київ: Елміс, 2013. – 28 с.

2.3. Bombardelli C. Ion Beam Shepherd for Contactless Space Debris Removal / C. Bombardelli, J. Pelaez // Journal of Guidance, Control and Dynamics. – 2011. – Vol. 34, №3. – P. 916 – 920.

2.4. Бомбарделли К. Проект «Космического Пастуха» с ионным лучом. Идеи и задачи / К. Бомбарделли, А. П. Алпатов, А. В. Пироженко, Е. Ю. Баранов, Г. Г. Осинский, А. Е. Закржевский // *Космічна наука і технологія*. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 55 – 60.

2.5. Алпатов А. П. Определение силы воздействия факела электрореактивного двигателя на орбитальный объект / А. П. Алпатов, А. Е. Закржевский, М. Мерино, А. А. Фоков, С. В. Хорошилов, Ф. Цихоцкий // *Космічна наука і технологія*. – 2016. – Т.22. – № 1. – С.52 – 63.

2.6. Bombardelli C. Relative dynamics and control of an ion beam shepherd satellite / C. Bombardelli, H. Urrutxua, M. Merino, E. Ahedo, and J. Pelaez // *Spaceflight mechanics*. – 2012. – Vol. 143. – P. 2145 – 2158.

2.7. Merino M. A collisionless plasma thruster plume expansion model / M. Merino, F. Cichocki, E. Ahedo // *Plasma Sources Science and Technology*. – 2015. – Vol. 24(3), – P. 1 – 12.

2.8. Bombardelli C. Ariadna call for ideas: Active removal of space debris ion beam shepherd for contactless debris removal / C. Bombardelli, M. Merino, E. Ahedo, J. Pelaez, H. Urrutxua, A. Iturri-Torrey, J. HerreraMontojoy // *Technical report*. – 2011. – 90 p.

2.9. Alpatov A.P. Error Analysis of Method for Calculation of Non-Contact Impact on Space Debris from Ion Thruster / A.P. Alpatov, A.A. Fokov, S.V. Khoroshylov, A.P. Savchuk // *Mechanics, Materials Science & Engineering*. – 2016. – #5. – P.64 – 76.

2.10. Лурье А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.

2.11. Янгулова О. Л. Теоретична механіка. Аналітична механіка: навч. посібник / О. Л. Янгулова. – Дніпро: Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2019. – 75 с.

2.12. Попов В. И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

2.13. Управление ориентацией космических аппаратов. Б. В. Раушенбах, Е. Н. Токарь. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1974. – 600 с.

2.14. Затовський О. В. Лекції з курсу "Класична механіка" / О. В. Затовський, В. П. Олейнік; ОНУ ім. І.І. Мечникова. – Одеса: Астропринт, 2005. - Ч. 2: Рух твердого тіла. Основні принципи механіки Гамільтона. Механіка суцільних середовищ. – Одеса, 2006. – 89 с.

2.15. Markley, F. L. Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control [Text] / F. L. Markley, J. L. Crassidis. – Springer Science + Business Media. New York, 2014. – 486 p.

2.16. Своробин Д.С. Анализ целесообразности использования аэродинамического компенсатора при бесконтактном удалении космического мусора /Д.С. Своробин, А.А. Фоков, С.В. Хорошилов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2018. – № 6(150). – С.4 – 11

9. Інформаційні ресурси.

1. Методичні матеріали з дисципліни.
2. Бібліотека ІТМ НАНУ та ДКАУ.
3. Бібліотека ДНУ.
4. Електронні посібники.
5. Інтернет-ресурси.

10. Перелік питань з навчальної дисципліни «Дослідна практика».

Розділ 1. Динаміка класу систем взаємного позиціонування космічного апарата і корисного навантаження. Модельні задачі.

- 1.1. Характеристики бортових транспортних маніпуляційних систем.
- 1.2. Особливості системи "орбітальний корабель з бортовим маніпулятором - корисне навантаження" як об'єкта керування.
- 1.3. Вимоги до моделей динаміки з точки зору синтезу регулятора та повноти врахування механічних властивостей маніпулятора.
- 1.4. Ієрархічна послідовність моделей динаміки системи, їх характеристику та призначення; поняття опорної конфігурації, причини введення цього поняття та його призначення.
- 1.5. Призначення маніпуляційних механізмів паралельної кінематики в системі «космічний апарат - механізм взаємного позиціонування - корисне навантаження».
- 1.6. Методи побудови математичних моделей. Поняття модельної задачі та їх призначення.
- 1.7. Виведення рівнянь плоскої механічної системи двох тіл, з'єднаних за допомогою безмасового дволанкового механізму за допомогою рівнянь Лагранжу.
- 1.8. Отримання рівнянь руху даної механічної системи для випадку відсутності зовнішніх сил і моментів.
- 1.9. Наявність коливань по внутрішньому ступеню свободи при відсутності керуючого моменту при ненульових початкових умовах.
- 1.10. Кінетична енергія системи тіл.
- 1.11. Складові виразу кінетичної енергії механічної системи та вигляд їх виразу у випадку стаціонарних зв'язків.
- 1.12. Поняття оператора Ейлера (ейлерів оператор) при виводі рівнянь Лагранжу другого роду.
- 1.13. Спрощена модельна задача для дослідження динаміки системи взаємного позиціонування тіл системи, що містить маніпуляційний механізм паралельної структури.. Переваги і недоліки.
- 1.14. Кінетична енергія системи при відносному русі.
- 1.15. Відмінність розвинутої модельної задачі від спрощеної.

Розділ 2. Задачі динаміки відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта орбітального сервісу на прикладі технології "пастух з іонним променем".

- 2.1. Огляд інженерних розробок з орбітального сервісу.
- 2.2. Тенденції розвитку систем орбітального сервісу.
- 2.3. Проблема засмічення навколосемного простору.
- 2.4. Відомі методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколосемних орбіт.
- 2.5. Концепція видалення космічного сміття "пастух з іонним променем".
- 2.6. Існуючі моделі взаємодії іонного потоку з об'єктами космічного сміття.
- 2.7. Методи розрахунку сили й моменту, що передані мішені іонним потоком користуючись методом інтегрування по поверхні мішені. Метод спрощеного визначення.
- 2.8. Погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення.
- 2.9. Спосіб оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення.
- 2.10. Можливість застосування спрощеного підходу до визначення сили впливу іонного потоку на об'єкт космічного сміття.

2.11. Використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені.

2.12. Системи координат, що використовуються для моделювання руху системи "пастух - мішень".

2.13. Різниця в описі кутового положення пастуха і кутового положення мішені. Аналіз використовуваних динамічних рівнянь Ейлера та кінематичних співвідношень.

2.14. Технологія видалення космічного сміття "пастух з іонним променем". Модифікована схема з аеродинамічним компенсатором.

2.15. Доцільність використання модифікованої схеми технології "пастух з іонним променем".