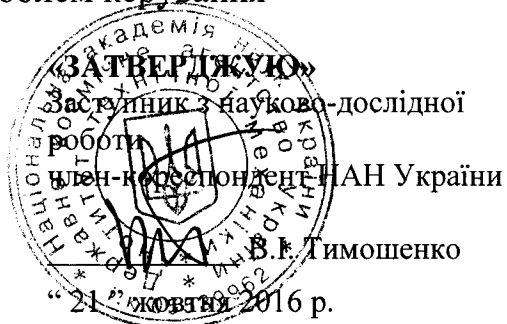


**Національна Академія наук України**  
**Державне космічне агентство України**  
**Інститут технічної механіки**  
Відділ системного аналізу та проблем керування



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### ОКЗ 2.3 Дослідна практика

(шифр із ОПП і повна назва навчальної дисципліни)

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)

факультет/центр \_\_\_\_\_ Аспірантура ІТМ НАНУ і ДКАУ, відділ № 9  
(назва)

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 № 7 від 19.10.2016 р.*

Завідуючий відділу № 9 \_\_\_\_\_ Апатов А.П.

**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
<b>Аудиторні заняття, годин:</b>	<b>30</b>
- лекції	
- лабораторні	
- практичні (семінарські)	30
<b>Самостійна робота, годин:</b>	<b>60</b>
- 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)	
<b>Виконання індивідуальних завдань, годин:</b>	
- рефератів, аналітичних оглядів, есе та ін.	
- розрахункових, графічних, розрахунково-графічних робіт	
- курсових робіт (проектів)	
<b>Контрольні заходи, годин:</b>	<b>4</b>
- 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 характеристику 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. Модельна задача Демідова С.М. (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 модельної задачі Демідова С.М.

**Тема 1.4. Розвиток модельної задачі Демідова С.М. 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 Демідова С. М. від оригінальної моделі Демідова С. М.

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

**Тема 2.1. Постановка задачі (2 години).**

Проблема засмічення навколоземного простору. Відомі методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколоземних орбіт Концепція видалення космічного сміття "пастух з іонним променем".

**Тема 2.2. Розрахунок силового впливу. Метод інтегрування по поверхні мішені. Метод на основі контуру мішені (2 години).**

Існуючі моделі взаємодії іонного потоку з об'єктами космічного сміття. Розрахунок сили й моменту, що передані мішені іонним потоком користуючись методом інтегрування по по-

верхні мішені. Розрахунок сили й моменту, що передані мішені іонним потоком методом спрощеного визначення сили впливу факела електрореактивного двигуна на орбітальний об'єкт.

**Тема 2.3. Аналіз погрішності спрощеного підходу до визначення сили впливу (2 години).**

Погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення. Спосіб оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення. Розрахунок оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку на елемент поверхні при застосуванні спрощеного підходу з урахуванням кута між напрямком розповсюдження променю й віссю конуса іонного потоку, азимуту напрямку розповсюдження променю іонного потоку, відстані до елемента поверхні. Висновки щодо можливості застосування спрощеного підходу до визначення сили впливу іонного потоку на об'єкт космічного сміття.

**Тема 2.4. Вивчення можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Алгоритм керування (6 годин).**

Вивчення можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Системи координат, що використовуються для моделювання руху системи "пастух - мішень". 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 впливу факела стосовно до керування відносним рухом мішені. Модель поступального руху пастуха і мішені при прийнятих припущеннях. Опис найпростішого алгоритму керування відносним рухом пастуха і мішені. Алгоритм визначення контуру мішені.

**Тема 2.5. Аналіз результатів моделювання керованого руху (2 години).**

Характеристика результатів моделювання керованого руху системи "пастух – мішень" за найпростішим алгоритмом керування. Висновки щодо можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені.

## 6.2. Розподіл навчальних годин по темам.

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин				Примітки			
		лекції	Практичні	Лабораторні заняття	Самостійна робота				
<b>3 семестр</b>									
<b><i>Розділ 1. Динаміка класу систем взаємного позиціонування космічного апарата і корисного навантаження. Модельні задачі.</i></b>									
1	Тема 1.1. Особливості класу систем взаємного позиціонування КА й корисного навантаження. Поняття модельної задачі. <i>Самостійно. 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 дина-</i>		2		6				

	<p>міки 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 статтей [1.4, 1. 5]. Звернути увагу на призначення маніпуляційних механізмів паралельної кінематики в системі «космічний апарат - механізм взаємного позиціонування - корисне навантаження». Ознайомитись зі змістом параграфа 1.5 "Методы построения математических моделей" книги [1.6]. Звернути увагу на поняття модельної задачі та їх призначення.</p>								
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 плоскої 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>		4		8				
3	<p>Тема 1.3. Модельна задача для дослідження динаміки системи взаємного позиціонування, що містить маніпуляційний механізм паралельної структури. Модельна задача Демідова С.М.</p> <p><i>Самостійно.</i> Засвоїти матеріал параграфа 4.1. "Кинетическая энергия системы" 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. "Вывод дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на поняття оператора Ейлера (ейлерів оператор). Засвоїти матеріал параграфа 7.4. "Явная форма уравнений Лагранжа" 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 модельної задачі Демідова С.М.</p>		2		6				

4	<p>Тема 1.4. Розвиток модельної задачі Демідова С.М. Випадок рухомої в інерціальному просторі основи.</p> <p><i>Самостійно. Засвоїти матеріал параграфу 4.9. "Кинетическая энергия системы при относительном движении" курсу аналітичної механіки [1.9]. Звернути увагу на складові виразу кінетичної енергії механічної системи. Отримати вираз для 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 Демідова С.М. від оригінальної моделі Демідова С.М.</i></p>		4		9					
5	<p>Підсумкове заняття за розділом 1</p> <p><i>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.</i></p>		2		1					
<p><b>Розділ 2. Задачі динаміки відносного руху сервісного космічного апарата і об'єкта орбітального сервісу на прикладі технології "настух з іонним променем".</b></p>										
6	<p>Тема 2.1. Постановка задачі.</p> <p><i>Самостійно. Знайти літературу з проблеми засмічення навколоземного простору, прояснити в чому полягає проблема. Вивчити інформацію про відомі контактні методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколоземних орбіт за матеріалами допоміжної літератури, що наведена нижче. Вивчити інформацію про відомі безконтактні методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколоземних орбіт за матеріалами допоміжної літератури, що наведена нижче. Засвоїти матеріал статей [2.1], [2.2]. Прояснити в чому полягає метод відведення космічного сміття за технологією "настух з іонним променем".</i></p>		2		5					
7	<p>Тема 2.2. Розрахунок силового впливу. Метод інтегрування по поверхні мішені. Метод на основі контуру мішені.</p> <p><i>Самостійно. За допомогою статей [2.5], [2.6], [2.7] ознайомитись з існуючими моделями взаємодії іонного</i></p>		2		12					

	<p>потоків з об'єктами космічного сміття. Засвоїти матеріал статті [2.4].</p> <p>Прояснити в чому полягає метод спрощеного визначення сили впливу факела електрореактивного двигуна на орбітальний об'єкт. Створити комп'ютерну програму визначення сили й моменту, що передані мішені іонним потоком користуючись співвідношеннями.</p>								
8	<p>Тема 2.3. Аналіз погрішності спрощеного підходу до визначення сили впливу.</p> <p><i>Самостійно</i> Засвоїти матеріал підрозділу 2.2 навчального контенту. Звернути увагу на причину погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення. Знайти спосіб оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення.</p> <p>Створити комп'ютерну програму оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку на елемент поверхні при застосуванні спрощеного підходу в залежності від кута між напрямком розповсюдження променя й віссю конуса іонного пучка, азимуту напрямку розповсюдження променя іонного пучка, відстані до елемента поверхні. Зробити висновки щодо можливості застосування спрощеного підходу до визначення сили впливу іонного потоку на об'єкт космічного сміття.</p>		2		5				
9	<p>Тема 2.4. Вивчення можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Алгоритм керування.</p> <p><i>Самостійно.</i> Засвоїти матеріал підрозділу 2.3 навчального контенту. Яким чином можна провести вивчення можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені.</p> <p>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.</p> <p>Охарактеризувати припущення прийняті для проведення попередньої оцінки можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела стосовно до керування відносним рухом мішені. Як виглядає модель поступального руху пастуха і мішені при прийнятих припущеннях. Засвоїти матеріал підрозділу 2.4 навчального контенту.</p> <p>Описати найпростіший алгоритм керування відносним рухом пастуха і</p>		6		6				

	<i>мішені. Описати алгоритм визначення контуру мішені, що докладно описаний в [2.4].</i>								
10	<i>Тема 2.5. Аналіз результатів моделювання керованого руху. Самостійно. Охарактеризувати результати моделювання керованого руху системи "пастух – мішень" за найпростішим алгоритмом керування. Зробити висновки щодо можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Пояснити на основі чого зроблено висновок щодо можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела ЕРД у законі керування відносним рухом мішені. Пояснити чому зроблений висновок є попереднім. Що необхідно зробити для більш аргументованого висновку.</i>		2		1				
	Підготовка до заліку		2		1				
	<b>Всього</b>		<b>30</b>		<b>60</b>				

## 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 оцінюван- ня (тиждень)	Максимальна кіль- кість балів
Контрольне тестування за темами		
Оцінювання рівня виконання завдань для самостійної роботи		
Залік	семестр	100
<b>Максимальна кількість балів за поточне оцінювання 100</b>		



## 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.

### Література для засвоєння матеріалу розділу 2

2.1. 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.

2.2. 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.

2.3. Merino M. Ion beam shepherd satellite for space debris removal / M. Merino, E. Ahedo, C. Bombardelli, H. Urrutxua and J. Peláez // *Progress in Propulsion Physics*. – 2013. – Vol. 4. – P. 789 – 802.

2.4. 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.

2.5. 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.

2.6. 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.

2.7. 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-Torreay, J. HerreraMontojoy // Technical report. – 2011. – 90 p.

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

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

2.10. Й. Виттенбург. Динамика систем твердых тел. Перевод с английского под ред. В. В. Румянцева. – М: Мир. – 1980. – 292 с.

## 9. Інформаційні ресурси.

1. Методичні матеріали з дисципліни.
2. Бібліотека ІГМ 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. Модельна задача Демідова С.М. Переваги і недоліки.
- 1.14. Кінетична енергія системи при відносному русі.
- 1.15. Відмінність розвинутої модельної задачі Демідова С. М. від оригінальної моделі Демідова С. М.

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

2.1. Проблема засмічення навколоземного простору.

2.2. Відомі методи видалення об'єктів космічного сміття з робочих навколоземних орбіт.

2.3. Концепція видалення космічного сміття "пастух з іонним променем".

2.4. Існуючі моделі взаємодії іонного потоку з об'єктами космічного сміття.

2.5. Методи розрахунку сили й моменту, що передані мішені іонним потоком користуючись методом інтегрування по поверхні мішені. Метод спрощеного визначення.

2.6. Погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення.

2.7. Спосіб оцінки погрішності обчислення сили впливу іонного потоку при застосуванні спрощеного підходу до її визначення.

2.8. Можливість застосування спрощеного підходу до визначення сили впливу іонного потоку на об'єкт космічного сміття.

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

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

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

2.12. Припущення прийняті для оцінки можливості використання спрощеного підходу до визначення впливу факела стосовно до керування відносним рухом мішені.

2.13. Найпростіший алгоритм керування відносним рухом пастуха і мішені. Алгоритм визначення контуру мішені.