

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ІМ. С. П. ТИМОШЕНКА

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора Інституту механіки
ім. С.П. Тимошенка НАН України
академік НАН України



Володимир НАЗАРЕНКО

Назаренко 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Спеціальні розділи оптимізації динамічних систем

для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти
«доктора філософії»

галузь знань	11 Математика та статистика
спеціальність	113 «Прикладна математика»
вид дисципліни	вибіркова

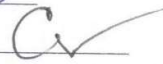
Розробники:

Провідний науковий співробітник відділу теорії коливань

д-р фіз.-мат. наук, проф.  Борис КІФОРЕНКО

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол від 3 травня 2022р. № 6

Голова науково-методичної ради 

Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

Протокол від 10 травня 2022 року № 4

Голова Вченої ради  Володимир НАЗАРЕНКО

Робочу програму узгоджено з гарантом освітньо-наукової програми (керівником програми) 113 «Прикладна математика» 3 травня 2022р.

Гарант освітньо-наукової програми  Володимир НАЗАРЕНКО

Пролонговано Вченою радою Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка:

Навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради Інституту механіки НАНУ	Підпис	№ протоколу	Дата Протоколу
20__/20__				
20__/20__				
20__/20__				
20__/20__				

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Вид дисципліни	Вибіркова
Мова викладання, навчання та оцінювання	Українська
Загальний обсяг кредитів / годин	4/120
Курс	2
Семестр	3
Кількість змістових модулів з розподілом	2
Кількість кредитів	4
Обсяг академічних годин, в тому числі	120
Лекції	20
Практичні заняття	20
Самостійна робота	80
Форма підсумкового контролю	Залік

2. МЕТА, ЗАВДАННЯ ТА ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Робоча програма навчальної дисципліни «**Спеціальні розділи теорії оптимізації динамічних систем**» є нормативним документом, який розроблено на основі освітньо-наукової програми, далі ОНП, (затверджена Вченою радою Інституту механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України., протокол № 5 від «27» грудня 2017 року) підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти відповідно до навчального плану спеціальності 113 «Прикладна математика».

Навчальна дисципліна «Спеціальні розділи теорії оптимізації динамічних систем» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-наукового рівня “доктор філософії”

Передумова вивчення. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з дисциплінами професійної та практичної підготовки фахівців-механіків, зокрема з курсом теоретичної механіки, загальним курсом теорії диференціальних рівнянь, варіаційного числення та теорії оптимального керування та обов’язкових курсів освітньо-наукової програми ДВІ 1 та ДВІ 2, які вивчаються на першому курсі аспірантури. Вони повинні володіти методами обчислювальної математики та методами математичного моделювання систем та процесів.

Метою навчальної дисципліни «Спеціальні розділи теорії оптимізації динамічних систем» є набуття знань та вмінь розв’язання комплексних проблем в галузі механіки шляхом здобуття ними компетентностей, необхідних для виконання *самостійних* та *оригінальних наукових*

досліджень, результати яких мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Головними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні розділи теорії оптимізації динамічних систем» є формування знань, практичних навичок та компетентностей, потрібних для проведення самостійних кваліфікованих наукових досліджень:

- Загальні компетентності: ЗК1 – ЗК6 (відповідно до переліку загальних компетентностей ОНП).
- Спеціальні (фахові) компетентності: СК1 – СК7 (відповідно до переліку спеціальних компетентностей ОНП).
- Загальні програмні результати навчання: ПРН1 – ПРН6, ПРН11 (відповідно до переліку програмних результатів навчання ОНП).

Програмні результати навчання за дисципліною (вимоги до знань та вмінь):

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен *знати*:

- основні концепції, наукові школи та праці провідних вітчизняних і зарубіжних науковців у сфері оптимізації керування рухом космічних систем;
- теорію гравітаційних полів різного типу;
- варіаційні постановки задач механіки космічного польоту;
- аналітичні і чисельні методи, прикладні програмні комплекси, які застосовуються для дослідження та розв'язування задач оптимізації руху космічних апаратів;

вміти:

- формулювати задачі про оптимізацію маневрів космічних апаратів для різноманітних космічних місій;
- досліджувати оптимізаційні проблеми з використанням методу динамічного програмування та принципу максимуму;
- чисельно розв'язувати: задачі Коші та крайові задачі для систем звичайних диференціальних рівнянь; задачі пошуку мінімуму цільової функції багатьох змінних.

3. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовний модуль 1. Основи механіки космічного польоту

Тема 1. Теорія руху в гравітаційних полях. Гравітаційний потенціал матеріальних тіл. Задачі двох та n тіл. Основні кінематичні та динамічні співвідношення. Центральне гравітаційне поле. Типи орбіт в задачі двох тіл, орбітальні параметри. Визначення параметрів орбіт по фазовим змінним матеріальної точки.

Тема 2. Теорія збуреного руху в центральному гравітаційному полі. Характеристики збурюючих факторів. Рівняння збуреного руху в

різноманітних системах координат. Рівняння в оскулюючих змінних. Взаємозв'язок між різними системами оскулюючих змінних.

Тема 3. Механіка руху космічних апаратів з різноманітними рушійними системами. Принципи генерації сили тяги. Типи рушійних систем. Рушійні системи великої тяги: хімічні, теплові, ядерні. Рушійні системи малої тяги: електрореактивні двигуни та парусні системи.

Змістовний модуль 2. Дослідження оптимально керованих міжорбітальних переходів.

Тема 4. Міжорбітальні переходи космічних апаратів з великою тягою. Рівняння Мещерського, формула Ціолковського. Міжорбітальні переходи в імпульсному наближенні. Одноімпульсні міжорбітальні переходи. Оптимізація схем дво- та багатоімпульсних міжорбітальних переходів.

Тема 5. Міжорбітальні переходи космічних апаратів з малою тягою. Математичні моделі класичних рушійних систем з малою тягою. Математичні моделі рушійних систем малої тяги з акумулятором енергії. Формулювання варіаційних задач максимізації маси корисного вантажу. Маневрування між близькими круговими орбітами. Переходи між близькими еліптичними орбітами. Оптимальні переходи між довільними еліптичними орбітами в навколопланетному просторі.

Тема 6. Оптимізація маневрів космічних апаратів з комбінованою системою великої та малої тяги. Формулювання варіаційних задач максимізації маси корисного вантажу. Перехід з орбіти супутника Землі на орбіту супутника планети призначення. Перехід з низької монтажною орбіти на геостационарну орбіту.

4. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (РОЗПОДІЛ ГОДИН)

№	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Практичні заняття	Самост. робота
	<i>Змістовний модуль 1. Основи механіки космічного польоту</i>			
1	Теорія руху в гравітаційних полях	4	4	16
2	Теорія збуреного руху в центральному гравітаційному полі	2	2	8
3	Механіка руху космічних апаратів з різноманітними рушійними системами	4	4	16
	<i>Змістовний модуль 2. Дослідження оптимально керованих міжорбітальних переходів</i>			

4	Міжорбітальні переходи космічних апаратів з великою тягою	4	4	16
5	Міжорбітальні переходи космічних апаратів з малою тягою	4	4	16
6	Оптимізація маневрів космічних апаратів з комбінованою системою великої та малої тяги	2	2	8
Всього годин з дисципліни		20	20	80

5. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовний модуль 1. Основи термомеханіки зв'язаних полів

Тема 1. Теорія руху в гравітаційних полях

Лекція 1. Гравітаційний потенціал матеріальних тіл. Гравітаційний потенціал сферичних тіл. Потенціал тяжіння Землі. Центральне гравітаційне поле. Задача двох тіл. Рівняння руху. Перші інтеграли рівнянь руху. Кругова, еліптична, параболічна орбіти та їх характеристики.

Практичне заняття 1. Рух в гравітаційному полі Землі. Перша та друга космічні швидкості. Геостационарна орбіта.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу який винесено на самостійне вивчення:
 - Основні траєкторні та фізичні параметри Сонця та планет сонячної системи.
 - Оцінка впливу зональних гармонік на потенціал гравітаційного поля Землі.

Лекція 2. Задача n тіл. Обмежена задача трьох тіл. Інерціальні, відносні та барицентричні співвідношення. Визначення параметрів орбіт по декартовим фазовим змінним матеріальної точки і навпаки.

Практичне заняття 2. 10 перших інтегралів рівнянь руху в задачі трьох тіл. Вплив Місяця на рух штучного супутника Землі.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:

- Рівняння Ляпунова.

Література: основна – 1, 2, 3, 9; додаткова – 22.

Тема 2. Теорія збуреного руху в центральному гравітаційному полі

Лекція 1. Характеристики збурюючих факторів. Рівняння збуреного руху в різноманітних системах координат. Рівняння в оскулюючих змінних. Взаємозв'язок між різними системами оскулюючих змінних.

Практичне заняття 1. Частинні випадки рівнянь збуреного руху.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
 - Лінеаризація рівнянь руху в околі опорної орбіти у випадку малих збурень.

Література: основна – 1, 2, 3, 7; додаткова – 13, 14, 20

Тема 3. Механіка руху космічних апаратів з різноманітними рушійними системами

Лекція 1. Принципи генерації сили тяги. Типи рушійних систем. Рушійні системи великої тяги: хімічні теплові, ядерні. Параметри рушійних систем великої тяги.

Практичне заняття 1. Швидкість витікання реактивного струменя. Питомий імпульс тяги.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Характеристики сучасних та перспективних рушійних систем великої тяги.

Лекція 2. Рушійні системи малої тяги: електрореактивні двигуни та парусні системи. Математичні моделі електрореактивних рушійних систем. Математичні моделі комбінованих рушійних систем великої та малої тяги. Забезпечення енергією електрореактивних рушійних систем.

Практичне заняття 2. Вольтамперні характеристики сонячних батарей, відцентрових генераторів та термоємисійних перетворювачів.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Вольтамперні характеристики сонячних батарей, відцентрових генераторів та термоємисійних перетворювачів.

Література: основна – 1, 2, 3, 4; додаткова – 12, 19.

Змістовний модуль 2. Дослідження термомеханічної поведінки непружних елементів конструкцій з використанням аналітичних та чисельних методів

Тема 4. Міжорбітальні переходи космічних апаратів з великою тягою.

Лекція 1. Рівняння Мещерського, формула Ціолковського. Міжорбітальні переходи в імпульсному наближенні. Одноімпульсні міжорбітальні переходи.

Практичне заняття 1. Розрахунки характеристик конкретних одно імпульсних міжорбітальних переходів.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Оцінка точності одноімпульсних наближень.

Лекція 2. Оптимізація схем дво- та багатоімпульсних міжорбітальних переходів. Методи пошуку мінімуму цільової функції багатьох змінних.

Практичне заняття 2. Оптимізація конкретних дво- та багатоімпульсних переходів. Мінімізація функцій в системі MATLAB.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Пошук мінімуму неунімодальних функцій.

Література: основна – 1, 3, 4; додаткова – 21.

Тема 5. Міжорбітальні переходи космічних апаратів з малою тягою

Лекція 1. Математичні моделі класичних рушійних систем з малою тягою. Математичні моделі рушійних систем малої тяги з акумулятором енергії. Формулювання варіаційних задач максимізації маси корисного вантажу. Методи розв'язування задач оптимального керування. Маневрування між близькими круговими орбітами.

Практичне заняття 1. Оптимальні переходи космічних апаратів між близькими круговими орбітами з класичною ідеально-керованою рушійною системою та з рушійною системою з акумулятором енергії.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Способи утримання космічного апарату в околі заданої кругової орбіти.

Лекція 2. Переходи між близькими еліптичними орбітами. Оптимальні переходи між довільними еліптичними орбітами в навколопланетному просторі космічних апаратів з ідеально керованими автономними та сонячними рушійними системами.

Практичне заняття 2. Переходи космічних апаратів з рушійними системами з акумулятором енергії між близькими еліптичними орбітами для заданих змін елементів орбіти.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Вплив тіні Землі на оптимізацію маневрів космічних апаратів з сонячною рушійною системою.

Література: основна – 1, 2, 6, 7; додаткова – 13, 15, 16, 17, 20.

Тема 6. Оптимізація маневрів космічних апаратів з комбінованою системою великої та малої тяги.

Лекція 1. Формулювання варіаційних задач максимізації маси корисного вантажу. Перехід з орбіти супутника Землі на орбіту супутника планети призначення. Перехід з низької монтажною орбіти на геостаціонарну орбіту.

Практичне заняття 1. Чисельний розрахунок оптимальних переходів з орбіти супутника Землі на орбіту супутника Марса.

Завдання для самостійної роботи

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення:
 - Характеристики орбіт планет Сонячної системи.

Література: основна – 2, 3, 4, 5, 7; додаткова – 14, 18.

Самостійна робота аспіранта, її зміст та обсяг

№ з/п	Зміст самостійної роботи аспіранта	Обсяг СР (годин)
1	Опрацювання лекційного матеріалу	20
2	Підготовка до практичних занять	20
3	Опрацювання матеріалу, який винесено на самостійне вивчення	40
	Всього	80

6. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТНЬО-НАУКОВОГО СТУПЕНЯ

6.1 Політика дотримання академічної доброчесності

Очікується, що аспіранти знайомі з основними принципами академічної доброчесності, самостійно виконують усі навчальні завдання, коректно посилаються на використані джерела інформації при написанні власного наукового або навчального дослідження, тощо. Неприпустимим є списування при написанні контрольних робіт та складанні заліку (у тому числі з використанням мобільних пристроїв). У разі виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі аспіранта вона не зараховується викладачем.

6.2 Політика щодо відвідування занять

Відвідування занять є обов'язковим компонентом навчального процесу. За об'єктивних причин (наприклад, міжнародне стажування, епідеміологічні обмеження тощо) навчання може відбуватись в он-лайн формі за погодженням із керівником курсу та керівником аспірантури.

6.4 Система рейтингових балів

Рейтинг аспіранта з даної дисципліни складається з балів, що він отримує за:

1. Експрес-контроль – 20 балів.
2. Активну роботу на практичних заняттях - 20 балів.
3. Модульні контрольні роботи - 20 балів ($2 \times 10 = 20$)
3. Залік - 40 балів.

Заохочується представлення доповіді на наукових конференціях, семінарах, подання статті в журнал за тематикою курсу і додатково оцінюється у 10 балів.

Експрес-контроль проводиться з метою перевірки якості роботи аспіранта в аудиторії і самостійної роботи в позааудиторний час шляхом усного опитування чи самостійних письмових робіт тривалістю 10 – 30 хвилин, або індивідуальних домашніх завдань протягом семестру. Проводиться декілька раз (2 - 4) з максимальною сумарною оцінкою у 20 балів.

Залік складається аспірантом в аудиторний час і на нього виносяться питання та завдання, кожне з яких оцінюється за бальною системою.

6.5 Розрахункова шкала рейтингу

Максимальна сумарна кількість балів протягом семестру складає:
 $20+20+20+40=100$ (балів).

Рейтинг RD аспіранта складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням додаткових балів. Аспіранти, які набрали протягом семестру менше 30 балів, зобов'язані підвищити свій рейтинг, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість. Для підвищення рейтингу вони отримують можливість написати додаткову контрольну роботу та виконати індивідуальні домашні завдання.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

«Відмінно» А (90-100 балів) – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу з можливими незначними недоліками

«Добре» - В (82-89 балів) – дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.

«Добре» - С (74-81 балів) –в цілому добрий рівень знань (умінь) з незначною кількістю помилок.

«Задовільно» - D (64-73 балів) – виставляється аспіранту, який має знання тільки основного матеріалу, але не засвоїв його деталей, допускає неточності, неправильне тлумачення окремих елементів завдання та відчуває труднощі при виконанні практичних завдань.

«Задовільно» - E (60-63 балів) – достатньо – мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь).

«Незадовільно» - FX (35-59 балів) - виставляється аспіранту, який дає необґрунтовані відповіді на запитання, допускає суттєві помилки у використанні понятійного апарату. Не простежується логічність та послідовність думки. Формулювання хаотичні та не усвідомлені.

«Незадовільно» - F (1-34 балів) - виставляється аспіранту, який не засвоїв зміст дисципліни, вміння та навички не набуті.

7. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ЗАЛІКУ

1. Гравітаційний потенціал матеріального тіла.
2. Сферичне та несферичне центральні гравітаційні поля.
3. Типи орбіт при русі в сферичному гравітаційному полі.
4. Орбітальні параметри та їх властивості. Формула Кеплера.
5. Визначення параметрів орбіти фазовим змінним центру мас тіла.
6. Характеристики збурюючих факторів. Рівняння збуреного руху в декартовій, та сферичній системах координат.
7. Приклади рівнянь руху в оскулюючих змінних.
8. Взаємозв’язки між різноманітними системами оскулюючих змінних.
9. Принципи генерації тяги. Типи рушійних систем.
10. Обчислення тяги теплового ракетного двигуна.
11. Електрореактивні рушійні системи малої тяги.
12. Парусні рушійні системи малої тяги. Сонячний та ізотопний паруси.
13. Рівняння Мещерського, формула Ціолковського.
14. Одноімпульсні міжорбітальні переходи. Умова здійснення одноімпульсного переходу.
15. Оптимізація схем двоімпульсних переходів.
16. Методи мінімізації функцій багатьох змінних.

17. Математичні моделі класичних рушійних систем з малою тягою. Математичні моделі рушійних систем малої тяги з акумулятором енергії.
18. Формулювання варіаційних задач максимізації маси корисного вантажу. Параметрична та траєкторна задачі.
19. Принцип максимуму Понтрягіна. Метод ГамкRELідзе.
20. Оптимізаційні задачі з фіксованими та рухомими кінцями. Умови трансверсальності.
21. Оптимальні керування ідеально-керованою рушійною системою малої тяги при переходах між близькими круговими орбітами.
22. Оптимальні керування ідеально-керованою рушійною системою малої тяги при переходах між близькими еліптичними орбітами.
23. Метод розрахунку оптимального переходу космічного апарату з ідеально-керованою рушійною системою малої тяги.
24. Застосування акумулятора енергії в складі рушійної системи малої тяги з метою збільшення маси корисного вантажу.
25. Перехід космічного апарату з комбінованою рушійною системою з орбіти супутника Землі на орбіту супутника планети призначення.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

8.1. Основні

1. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел.— М.: Наука. — 1977. — 430с.
2. Гродзовский Г.Л., Иванов Ю.Н., Токарев В.В. Механика космического полета с малой тягой. — М: Наука. — 1966. — 680 с.
3. Дубошин Г.Н. Справочное руководство по небесной механике и астеродинамике. — М: Наука. — 1976. — 864 с.
4. Ильин В.А., Кузьмак Г.Е. Оптимальные перелеты космических аппаратов с двигателями большой тяги — М: Наука. — 1976. — 744 с.
5. Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. — М.: Наука, 1981. —336 с.
6. Кифоренко Б.Н., Ткаченко Я.В. Некоторые оптимальные околоэллиптические маневры космических аппаратов с двигателем постоянной мощности и аккумулятором энергии // Проблемы управления и информатики. — 2003. — №1. — С. 84–100.
7. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. — М.: Наука, 1990. — 448 с.
8. Ткаченко Я.В. Метод оптимизации маневров межорбитального транспортного аппарата в сильном центральном гравитационном поле // Прикладная механика. —2019. — **55**, №5. — С. 101 – 109.
9. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. — М.: Наука, 1965.— 540 с.

10. Эскобал П. Методы определения орбит – М.: Мир, 1970. – 540 с.
11. Kiforenko Boris N., Vasil'ev Igor Yu., Tkachenko Yaroslav V. On the problem of optimal control of the thrust value of the electric propulsion rocket with solar energy source//Acta Astronautica. 2005.– 89. – P. 121–125.

8.2. Додаткові

12. Кифоренко Б.Н. Проблемы математического описания ракетных двигателей как объектов управления // Приклад. механика. – 2012. – **48**, № 5. – С. 134 – 138.
13. Кифоренко Б.Н., Пасечник З.В., Васильев И.Ю. Усреднение уравнений движения в задаче оптимизации по быстродействию межорбитального перехода с постоянной по величине тягой в сильном центральном гравитационном поле // Проблемы управления и информатики. – 2001. – № 6. – С. 62 – 76.
14. Б. Кіфоренко, І. Василь'єв, О. Куценко, О. Харитонов Ефективність дворежимних ракетних двигунів при виконанні навколоземних орбітальних маневрів // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, сер. Математика, Механіка. – 2016 – **35**. – С.39 – 47.
15. Кіфоренко Б.М., Васильєв І.Ю., Ткаченко Я.В., Харитонova Л.В. Оптимальне управління тягою електричного ракетного двигуна з сонячним джерелом енергії // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, сер. Математика, Механіка. – 2013 – **30**. – С.36 – 39.
16. Кіфоренко Б.М., Ткаченко Я.В. Метод оптимальних траєкторій перельотів у сильному центральному гравітаційному полі // Збірник праць Інституту математики НАН України. – 2015. – **12**, №1. – С. 60–72.
17. Кіфоренко Б.М., Ткаченко Я.В. Метод оптимальних траєкторій перельотів у сильному центральному гравітаційному полі // Збірник праць Інституту математики НАН України. – 2015. – **12**, №1. – С. 60–72.
18. Кифоренко Б.Н., Харитонов А.М. Оптимальные перелеты космических аппаратов с двухрежимными двигателями // Прикладная механика. – 2010 – **46**, №10. – С. 78 – 89.
19. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование / Безручко К.В. и др. / Под ред. Конюхова С.Н., – Харьков: ХАИ, 2000. – 515 с.
20. Kiforenko Boris N., Vasil'ev Igor Yu., Tkachenko Yaroslav V. On the problem of optimal control of the thrust value of the electric propulsion rocket with solar energy source//Acta Astronautica. – 2013.– **89**. – P. 121–125.
21. Чичинадзе В.К. Решение нелинейных невыпуклых задач оптимизации: метод Ψ -преобразования. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
22. Vallado D. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. – Springer, Microcosm Press, 2001 – 1056 p.