



Методи числового моделювання РКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

• Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</i>
Освітня програма	<i>Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредитів, 180 навчальних годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Усний екзамен/МКР, Розрахункова робота.</i>
Розклад занять	<i>Лекції - 36 навч. годин, лабораторні роботи - 36 навч. годин.</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>ст. викладач Конотоп Д.І. (050-778-12-08), konotop.dmitriy@gmail.com</i> Лабораторні: <i>ст. викладач Борисов В.В. (096-932-12-49).</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа дистанційного навчання «Сікорський»</i>

• Програма навчальної дисципліни

• Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Знання та вміння, які студенти отримують під час вивчення дисципліни "Методи числового моделювання РКА", дозволяють їм самостійно розробляти нові спеціалізовані методики автоматизованого проектування РКА, успішно їх практично реалізовувати в середовищі сучасних CAD/CAM/CAE-систем, що дозволяє здійснювати комплексну оптимізацію складних технічних об'єктів. Метою дисципліни є підсилення здатності оптимізувати параметри елементів систем об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки (ФК 9 згідно із ОПП магістра), здатності реалізовувати фізичні та математичні моделі систем та процесів за допомогою методів і засобів сучасних інформаційних технологій (ФК 7 згідно із ОПП магістра), а також додатково сформувані у студентів здатності в галузі сучасного проектування ракетно-космічної техніки та ефективного використання сучасного програмного забезпечення, і в галузі математичного моделювання фізичних процесів та їх застосування у професійній діяльності. Предметом дисципліни є теорія і практика розробки та застосування сучасних методів і засобів інформаційних технологій для оптимізації структур механічних конструкцій РКА і параметрів їх елементів, самостійної розробки прикладного програмного забезпечення для вирішення нестандартних проектних задач. В процесі навчання студенти додатково підкріплюють такі результати згідно із ОПП магістра: вміння, із



використанням новітнього програмного забезпечення, яке застосовується в галузі, обчислювати напружено-деформований стан, визначати параметри міцності конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки та засобів промислового виробництва (ПРН 16) вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми (ПРН 3). Зазначені результати дозволяють здійснювати розробку оптимальної конструкції повітряно-космічних та космічних ЛА, зокрема ракет-носіїв, у тому числі з використанням методів числового диференціювання; використовувати та вдосконалювати методи, засоби та прийоми апроксимації та інтерполяції, структурно-параметричної оптимізації на основі створення параметричних моделей повітряно-космічних ЛА; проведення науково-дослідних та конструкторсько-технологічних робіт з проектування конструкцій РКА у середовищі комп'ютерних інтегрованих інформаційних систем, вибору найбільш оптимальних методів вирішення проектних задач; виконання багатокритеріальної оптимізації конструкції РКА.

- **Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення даної дисципліни вимагає наявності у студентів навичок користування персональними комп'ютерами на рівні розробника прикладного програмного забезпечення, а також наявності знань і вмінь, які вони отримують під час вивчення дисциплін першого (бакалаврського) рівня підготовки за спеціальністю "134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка", а також дисципліни "Основи наукових досліджень". Знання і вміння, які студенти отримують в процесі вивчення дисципліни "Методи числового моделювання РКА" дозволяють їм, в процесі створення магістерської дисертації, самостійно розробляти нові методи автоматизованого проектування елементів конструкції складних технічних об'єктів.

- **Зміст навчальної дисципліни**

Розділ 1 Конструкція РКА і основні принципи її проектування.

Тема 1.1. Особливості силової структури РКА.

Тема 1.2. Принципи проектування силової структури РКА.

Розділ 2. Алгоритми моделювання елементів ЛА.

Тема 2.1. Використання методу скінченних елементів для проектних розрахунків параметрів механічних конструкцій.

Тема 2.2. Структури даних скінченно-елементних моделей та методи їх опису за допомогою об'єктно-орієнтованих інформаційних технологій.

Тема 2.3. Алгоритми формування топологій скінченно-елементних моделей елементів силового набору конструкції РКА.

- **Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література:



- Грабин Б.В., Давыдов О.И., Жихарев В.И. и др. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов. Учебник для студентов вузов / под ред. В.П. Мишина, В.К. Карраска. М.: Машиностроение, 1991. 416 с.
- Семенов Ю.П (под ред.). Ракетно-космическая корпорация Энергия имени С.П.Королева 1946-1996 Т.1. 1996. 672 с.
- Сердюк В.К. Проектирование средств выведения космических аппаратов/ под ред. А.А. Медведева. М.: Машиностроение. 2009. 496 с.
- Аэродинамика ракет: Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, А.Н. Данилов, В.Ф. Захарченко. М.: Высш. шк., 1968. 772 с.
- Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows, -М, ДМК Пресс, 2001, -448 с.

Додаткова література:

- Борисов В.В., Методы синтеза конечно-элементной модели планера грузового самолета. - LAP Lambert Academic Publishing (ISBN 978-3-659-67887-5), 2015, -139 с.
- Балабух Л.И., Алфутов Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет: учебник для машиностроительных специальностей вузов. М.: Высш. шк., 1984. 391 с.
- Зинченко В.П., Абрамов Ю.В., Борисов В.В. Средства и методы управления проектной информацией при создании сложных технических объектов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. Аэроком. Ун-т "ХАИ", 2001. – Вып. № 9. – С. 17 – 29.
- Борисов В.В., Зинченко В.П., Разработка прочностных моделей конструкций на основе метода последовательной детализации // Труды IV Международной научно-технической конференции "Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники", посвященной 100-летию со дня рождения акад. С.П. Королева, НТУУ "КПИ". Киев, 2007. т. 1, –с. 55–61.
- Борисов В.В., Объектная система управления данными "SPACE" // Труды IV Международной научно-технической конференции "Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники", посвященной 100-летию со дня рождения акад. С.П. Королева, НТУУ "КПИ". Киев, 2007. т. 2, –с. 55–61.
- Борисов В.В., Зинченко В.П., Проблемы информационной технологии обмена данными в системе автоматизированного проектирования // Труды Международного симпозиума "Проблемы оптимизации вычислений" (ПОВ-XXXIII)/ Украина, Крым, Ялта, 2007. –с. 38–39.

• Навчальний контент

- **Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Дисципліна розрахована на один семестр. Вона складається з лекцій та лабораторних робіт.

В лекційній частині дисципліни описуються основні принципи проектування конструкцій ракет-носів та космічних апаратів, у тому числі багаторазового використання. Студентам викладаються



методи об'єктно-орієнтованої ІТ формування структур скінченно–елементних моделей конструкції РКА та синтезу зазначених моделей. Виконання лабораторних робіт повинно допомогти студентам більш глибоко засвоїти теоретичний матеріал. Під час лабораторних робіт студенти досліджують методи об'єктно-орієнтованої інформаційної технології побудови структур скінченно-елементних моделей силових елементів конструкції РКА. Особливо слід приділити увагу засвоєнню принципів правильного моделювання. Крім того студенти повинні добре засвоїти основні принципи формування бібліотеки класів об'єктів, на підставі класифікації силових елементів конструкції за функціональними ознаками.

Лекціна частина курсу складається з наступних занять:

Розділ 1

Конструкція РКА і основні принципи її проектування

Тема 1.1. Особливості силової структури РКА.

1.	Лекція 1. Особливості конструкцій ракет-носіїв. Основні вимоги до конструкцій ракет-носіїв. Особливості зовнішніх умов та умов навантаження конструкцій ракет-носіїв на різних етапах польоту. Основні елементи ракет-носіїв. Системи і елементи систем. Двигуни.
2.	Лекція 2. Особливості силових елементів конструкцій ракет-носіїв. Особливості зовнішніх зовнішніх та внутрішніх навантажень конструкцій ракет-носіїв на різних етапах польоту. Основні силові елементи. Особливості взаємодії силових елементів ракети-носія, структура стиків.
3.	Лекція 3. Особливості конструкцій орбітальних апаратів. Основні вимоги до конструкцій традиційних космічних космічних кораблів та космічних кораблів багаторазового використання. Особливості зовнішніх умов та умов навантаження конструкцій космічних кораблів багаторазового використання на різних етапах польоту. Основні елементи конструкції. Системи і елементи систем.
4.	Лекція 4. Особливості силових елементів конструкцій орбітальних апаратів. Особливості зовнішніх та внутрішніх навантажень конструкцій космічних кораблів на різних етапах польоту. Основні силові елементи. Особливості взаємодії силових елементів космічних кораблів багаторазового використання, структура стиків.

Тема 1.2. Принципи проектування силової структури РКА.

5.	Лекція 5. Проектування паливних відсіків. Класифікація паливних відсіків. формування конструктивно-силових схем. Конструктивне виконання і розрахунок основних елементів.
6.	Лекція 6. Проектування складових паливних відсіків. Матеріали і напівфабрикати. Теплові і силові схеми. Проектування теплоізоляції. Теплові мости. Кріплення ракетних двигунів
7.	Лекція 7. Проектування сухих відсіків і обтікачів, що скидаються. Класифікація сухих відсіків. Формування конструктивно-силових схем відсіків.



	<i>Вибір параметрів теплового захисту. Конструювання вузлів та вибір матеріалів.</i>
8.	Лекція 8. Проектування складових сухих відсіків і обтікачів, що скидаються. <i>Основні конструктивні вимоги та схеми скидання обтікачів. Навантаження і розрахункові випадки. Формування конструктивно-силових схем обтікачів. Конструювання замків повздовжнього стику</i>
9.	Лекція 9. Проектування силових конструкцій одноразових орбітальних апаратів. <i>Принципи формування конструктивно-силових схем різних класів орбітальних апаратів. Вибір конструктивно-силової схеми одноразового космічного апарата, що поверається.</i>
10.	Лекція 9,10. Проектування силових конструкцій багаторазових орбітальних апаратів. <i>Вибір конструктивно-силової схеми багаторазового космічного апарата типу "Шаттл". Конструювання планеру багаторазового космічного апарата. Попередній розрахунок міцності конструктивних елементів планеру. Розрахунок елементів теплового захисту.</i>
<u>Розділ 2</u> <u>Алгоритми моделювання елементів ЛА</u>	
Тема 2.1. Використання методу скінченних елементів для проектних розрахунків параметрів механічних конструкцій.	
11.	Лекція 11. Особливості програмування в об'єктно-орієнтованій системі "SPACE". <i>Особливості об'єктно-орієнтованої технології керування БД. Зміст поняття об'єкту в об'єктно-орієнтованій системі "SPACE". Принципи функціонування "SPACE Builder" та його взаємодія із системою "SPACE". Функції ядра "SPACE", їх призначення та засоби використання.</i>
12.	Лекція 12. Принципи побудови розрахункової SE-моделі. <i>Особливості технології створення об'єктів в системі "SPACE". Структура даних оптимізаційної скінченно-елементної моделі. Формати даних для опису структури моделі. Типові алгоритми формування структури скінченно-елементних моделей. "Віртуальні" змінні та структури даних "SPACE".</i>
Тема 2.2. Структури даних скінченно-елементних моделей та методи їх опису за допомогою об'єктно-орієнтованих інформаційних технологій.	
13.	Лекція 13. Структура даних скінченно-елементної моделі. <i>Перелік деталей, які повинні моделюватися та їх функціональне призначення. Формат структур даних для опису топології скінченно-елементної моделі. Формат структур даних для опису жорсткостних параметрів елементів скінченно-елементної моделі. Формат структур даних для опису умов закріплення та навантаження скінченно-елементної моделі. Класифікація</i>



	<i>скінченних елементів, її призначення.</i>
14.	Лекція 14. Методи формування скінченно-елементної моделі складного технічного об'єкту. <i>Алгоритми формування структури окремих типів елементів конструкції. Проблеми формування топології скінченно-елементної моделі конструкції складного технічного об'єкту. Методи і алгоритми формування загальної скінченно-елементної моделі шляхом об'єднання локальних моделей окремих зон конструкції складного технічного об'єкту.</i>
15.	Лекція 15. Обмін даними при формуванні скінченно-елементної моделі складного технічного об'єкту. <i>Обмін даними в процесі передачі жорсткостних параметрів. Особливості алгоритмів формування структур скінченно-елементних моделей різних типів.</i>
Тема 2.3. Алгоритми формування топологій скінченно-елементних моделей елементів силового набору конструкції РКА.	
16.	Лекція 16. Методи формування скінченно-елементної моделі підкріплених оболонкових конструкцій. <i>Типи конструктивних зон оболонкових конструкцій (регулярні і стикові зони, стики). Алгоритми формування топології скінченно-елементних моделей регулярних зон (перелік вихідних даних та методи їх визначення).</i>
17.	Лекція 17. Методи формування скінченно-елементної моделі стиків. <i>Алгоритми формування топології скінченно-елементних моделей стикових зон (перелік вихідних даних та методи їх визначення). Загальний алгоритм формування топології скінченно-елементних моделей стиків (перелік вихідних даних та методи їх визначення).</i>
18.	Лекція 18. Методи формування скінченно-елементних моделей стрижневих конструкцій. <i>Стрижневі елементи в конструкції ракети-носія. Принципи моделювання та алгоритми формування топології скінченно-елементних моделей стрижневих конструкцій. Особливості формування зон з'єднання стрижнів (зварні зони, зони з'єднання за допомогою кріпильних елементів). Випадки, в яких моделюються просторова конфігурація стрижневого елемента.</i>

Дисципліна "Методи числового моделювання РКА" передбачає виконання наступних лабораторних робіт:

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд.годин
1.	<i>Розробка конструктивно-силової схеми конструкції ракети-носія. Попередній розрахунок жорсткостних параметрів силових елементів конструкції. Дослідження впливу вихідних параметрів на конструктивно-силову схему ракети-носія (Тема 1.2.)</i>	10



2.	<i>Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системи керування даними "SPACE", призначених для формування структур скінченно-елементних моделей регулярних зон оболонкових конструкцій. (Тема 2.1.)</i>	10
3.	<i>Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системи керування даними "SPACE", призначених для формування структур скінченно-елементних моделей оболонкових конструкцій. (Тема 2.2.)</i>	8
4.	<i>Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системи керування даними "SPACE", призначених для формування структур скінченно-елементних моделей стрижневих конструкцій. (Тема 2.3.)</i>	8

- **Самостійна робота студента**

В процесі вивчення дисципліни "Методи числового моделювання РКА" студенти виконують розрахункову роботу (РР). Крім того, студенти вивчають самостійно частину навчальних матеріалів (СРС). Також, самостійно виконується частина лабораторних робіт.

- **Політика та контроль**

- **Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом:

- *лекційні заняття відвідуються в обсязі не менше 50% (пропущені лекції вивчаються за посібником), лабораторні роботи відпрацьовуються в повному обсязі, згідно із методичним посібником;*
- *заохочується активність на лекціях і лабораторних заняттях (у вигляді додаткових балів до рейтингу);*
- *захист лабораторних робіт здійснюється у формі опису виконаної роботи і обґрунтування обраних алгоритмів вирішення проектних завдань (при наявності звіту);*
- *захист розрахункових робіт здійснюється у формі опису виконаної роботи і обґрунтування обраних алгоритмів вирішення проектних завдань (при наявності пояснювальної записки);*
- *заохочувальні бали нараховуються за активність на заняттях і демонстрацію здатності до самостійного мислення, штрафні бали нараховуються за нерегулярне відвідування занять і недостатність базових знань з дисципліни у другій половині семестру;*
- *в разі, якщо студент демонструє на іспиті недостатні знання, що не дозволяють набрати необхідну кількість рейтингових балів, він може повторно скласти іспит в терміни, призначені деканатом.*



- **Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, захист лабораторних та розрахункових робіт.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу у вигляді МКР.

Семестровий контроль: усний екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: наявність 100% захищених лабораторних робіт та розрахункової роботи, за умови, що студент набрав не менше 25 рейтингових балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

- **Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**
- *приблизні теми РР наведені в додатку 1;*
- *питання до МКР наведені в додатку 2.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем кафедри АРБ Віктором БОРИСОВИМ.

Ухвалено кафедрою АРБ (протокол № 3 від 17.06.20)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 2 від 22.06.20)



Приблизні теми РР:

- 1. Розробка схеми обміну даними в процесі побудови SE-моделі типового відсіку ракети-носія.*
- 2. Розробка схеми обміну даними в процесі побудови SE-моделі відсіку космічного апарату (космічного корабля) (4 варіанти).*
- 3. Розробка схеми обміну даними в процесі побудови SE-моделі збірної конструкції ракети-носія (2 варіанти)*
- 4. Розробка схеми обміну даними в процесі буферизації даних.*
- 5. Розробка схеми обміну даними для аеродинамічних навантажень.*
- 6. Розробка схеми обміну даними в процесі роботи БД підрозділа.*
- 7. Розробка схеми обміну даними в процесі роботи БД користувача.*
- 8. Розробка схеми обміну даними в процесі статистичного аналізу.*
- 9. Розробка схеми обміну даними в процесі роботи довідкової служби проектної БД.*
- 10. Розробка схеми обміну даними для підтримки багатOVERСІЙНИХ систем.*
- 11. Розробка схеми обміну даними в процесі розрахунку координат вузлів скінченно–елементних моделей.*
- 12. Розробка схеми обміну даними в процесі розрахунку маси конструкції відсіку ракети-носія шляхом прямого считування даних зі скінченно–елементної моделі.*
- 13. Розробка схеми обміну даними в процесі розрахунку моменту інерції конструкції відсіку ракети-носія шляхом прямого считування даних зі скінченно–елементної моделі.*
- 14. Розробка схеми обміну даними для підтримки функцій класифікатора.*
- 15. Розробка схеми обміну даними для підтримки користувальницького інтерфейсу БД сервера, призначеного для підтримки довідкової служби проектної БД.*
- 16. Розробка схеми обміну даними для підтримки користувальницького інтерфейсу БД сервера, призначеного для розрахунку координат вузлів скінченно–елементних моделей.*
- 17. Розробка схеми обміну даними для підтримки користувальницького інтерфейсу БД виконавця.*
- 18. Розробка схеми обміну даними для підтримки користувальницького інтерфейсу БД підрозділа.*



Питання до МКР.

- 1. Основні елементи ракет-носіїв. Системи і елементи систем ракет-носіїв. Двигуни і паливна система.*
- 2. Особливості зовнішніх та внутрішніх навантажень конструкцій ракет-носії на різних етапах польоту.*
- 3. Основні силові елементи. Особливості взаємодії силових елементів ракети-носія, структура стиків.*
- 4. Основні вимоги до конструкцій традиційних космічних кораблів та космічних кораблів багаторазового використання. Особливості зовнішніх умов та умов навантаження конструкцій космічних кораблів багаторазового використання на різних етапах польоту.*
- 5. Основні елементи конструкції космічних кораблів багаторазового використання. Системи і елементи систем космічних кораблів багаторазового використання.*
- 6. Особливості зовнішніх та внутрішніх навантажень конструкцій космічних кораблів на різних етапах польоту. Основні силові елементи. Особливості взаємодії силових елементів космічних кораблів багаторазового використання, структура стиків.*
- 7. Класифікація паливних відсіків. формування конструктивно-силових схем. Коструктивне виконання і розрахунок основних елементів.*
- 8. Матеріали і напівфабрикати. Теплові і силові схеми. Проектування теплоізоляції.*
- 9. Теплові мости. Кріплення ракетних двигунів.*
- 10. Класифікація сухих відсіків. Формування конструктивно-силових схем відсіків. Вибір параметрів теплового захисту. Конструювання вузлів та вибір матеріалів.*
- 11. Основні конструктивні вимоги та схеми скидання обтікачів. Навантаження і розрахункові випадки. Формування конструктивно-силових схем обтікачів. Конструювання замків повздовжнього стику.*
- 12. Зміст поняття об'єкту в об'єктно-орієнтованій системі "SPACE".*
- 13. Принципи функціонування "SPACE Builder" та його взаємодія із системою "SPACE".*
- 14. Особливості технології створення об'єктів в системі "SPACE".*



15. Структура даних оптимізаційної скінченно–елементної моделі.
16. Формати даних для опису структури моделі.
17. "Віртуальні" змінні та структури даних "SPACE".
18. Принципи класифікації проектних моделей регулярних зон оболонкових конструкцій.
19. Перелік та особливості класів алгоритмів формування регулярних зон.
20. Послідовність формування структур скінченно–елементних моделей регулярних зон оболонкових конструкцій шляхом об'єднання скінченно–елементних моделей окремих конструктивних елементів.
21. Принцип опису топології моделей елементів оболонкових конструкцій у випадку різної кількості вузлів в перерізах.
22. Принципи з'єднання вузлів в моделях оболонкових конструкцій у разі різної кількості вузлів в перерізах.
23. Вихідні дані, необхідні для створення структури скінченно–елементної моделі паливного баку.
24. Формат структури обміну даними моделі нервюри із сервером геометрії.
25. Алгоритм формування структури моделі обшивки.
26. Алгоритм формування структури моделі стрингеру.
27. Алгоритм формування структури моделі монолітних панелей.