



Обчислювальна механіка

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 механіка</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, весняний 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>Rozklad.kpi.ua: Лекції - 36 навч. годин, лабораторні роботи - 36 навч. годин.</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>доцент ІАТ, к.т.н. Зінченко Д.М. +380632973370</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

Під час вивчення дисципліни студенти засвоюють теорію і практику розробки та застосування сучасних математичних методів оптимізації структур механічних конструкцій РКА і параметрів їх елементів, самостійної розробки відповідних математичних моделей як в інтегральному (параметричному) вигляді, так і з використанням методів числової апроксимації. 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).

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). Знання та вміння, які студенти отримують під час вивчення дисципліни "Обчислювальна механіка", дозволяють їм самостійно розробляти нові спеціалізовані методику

автоматизованого проектування конструкцій РКА, і практично їх реалізовувати шляхом розширення функціональних можливостей CAE-систем. Знання та вміння, які вони отримують під час вивчення дисципліни дозволяють їм самостійно розробляти математичні моделі конструкцій РКА, зокрема ракет-носіїв, які дають можливість ефективно використовувати методи числового диференціювання для пошуку оптимальних проєктних рішень; використовувати та вдосконалювати методи, засоби та прийоми апроксимації та інтерполяції, структурно-параметричної оптимізації на основі створення скінченно-елементних моделей конструкцій повітряно-космічних ЛА, у тому числі з використанням багатокритерійних методів оптимізації; використовувати та вдосконалювати методи апроксимації кусково-безперервними функціями складних механічних конструкцій.

- **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 "Обчислювальна механіка» дозволяють ним, 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. Математичні методи оптимізації жорсткостних параметрів конструкції РКА.

Тема 2.1. Методи числового диференціювання та визначення екстремумів довільних функцій, описаних за допомогою кусково-безперервних функцій першого порядку.

Тема 2.2. Застосування методів багатопараметричної оптимізації при визначенні оптимальних жорсткостних параметрів конструкції РКА.

Тема 2.3. Методи застосування результатів розрахунку НДС конструкції, отриманих за допомогою CAE-систем, в процесі багатопараметричної оптимізації конструкції РКА.

Розділ 3. Системи оптимізації жорсткостних параметрів конструкцій РКА.

Тема 3.1. Структури даних скінченно–елементних моделей та методи їх опису за допомогою об'єктно–орієнтованих засобів.

Тема 3.2. Алгоритми аналізу параметрів скінченно–елементних моделей конструкцій 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.
- Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1970. 575 с.
- Борисов В.В., Методы синтеза конечно-элементной модели планера грузового самолета. - LAP Lambert Academic Publishing (ISBN 978-3-659-67887-5), 2015, -139 с.
- Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.
- Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows, -М, ДМК Пресс, 2001, -448 с.

Додаткова література:

- 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 багатокритеріальної оптимізації механічних властивостей конструкцій РКА, описаних за допомогою кусочно-безперервних функцій. Виконання лабораторних робіт повинно допомогти студентам більш глибоко засвоїти теоретичний матеріал. Під час лабораторних робіт студенти досліджують методи об'єктно-орієнтованої інформаційної технології побудови математичних моделей НДС 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.

Лекційна частина курсу складається з наступних занять:

Розділ 1

Кострукція 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 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 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. Коструктивне виконання і розрахунок основних елементів. Матеріали і напівфабрикати. Теплові і силові схеми. Проектування теплоізоляції. Теплові мости. Кріплення ракетних двигунів.
6.	Лекція 6. Проектування сухих відсіків і обтікачів, що скидаються. Класифікація сухих відсіків. Формування конструктивно-силових схем відсіків. Вибір параметрів теплового захисту. Конструювання вузлів та вибір матеріалів. Основні конструктивні вимоги та схеми скидання обтікачів. Навантаження і розрахункові випадки. Формування конструктивно-силових схем обтікачів. Конструювання замків повздожнього стику.
7.	Лекція 7. Проектування силових конструкцій орбітальних апаратів. Принципи формування конструктивно-силових схем різних класів орбітальних апаратів. Вибір конструктивно-силової схеми одноразового космічного апарата, що поверається. Вибір конструктивно-силової схеми багаторазового космічного апарата типу "Шаттл". Конструювання планеру багаторазового космічного апарата. Попередній розрахунок міцності конструктивних елементів планеру. Розрахунок елементів теплового захисту.

Розділ 2

Математичні методи оптимізації жорсткостних параметрів конструкції РКА

Тема 2.1. Методи числового диференціювання та визначення екстремумів довільних функцій, описаних за допомогою кусково-безперервних функцій першого порядку.	
8.	Лекція 8. Методи числового диференціювання функцій. Методи односторонньої різниці. Метод двосторонньої різниці. Часткове диференціювання функції багатьох змінних. Похідні вищих порядків. Визначення загальних та локальних екстремумів за результатами числового диференціювання.
9.	Лекція 9. Принципи числового диференціювання загальної функції напружень та деформацій. Скінченно-елементна модель силової конструкції РКА, як загальна функція розподілу пружних характеристик в об'ємному просторі технічного об'єкту. Методи погодження структури скінченно-елементної моделі силової конструкції РКА із загальними моделями розподілу напружень та деформацій в об'ємному просторі технічного об'єкту, отриманих за результатами розрахунків НДС в САЕ-системах.
Тема 2.2. Застосування методів багатопараметричної оптимізації при визначенні оптимальних жорсткостних параметрів конструкції РКА.	
10.	Лекція 10. Загальні методи багатопараметричної оптимізації. Компромісні рішення. Основні поняття і визначення. Оптимізація за декількома параметрами (узагальнена цільова функція, визначення коефіцієнтів ваги параметрів, безпосереднє призначення коефіцієнтів ваги, оцінка важливості параметрів в балах, метод парних порівнянь, схеми компромісів), використання множників Лагранжа.
11.	Лекція 11. Загальні принципи застосування методів багатопараметричної оптимізації в процесі конструювання РКА. Принципи побудови параметричної моделі конструкції РКА. Визначення коефіцієнтів ваги параметрів конструкції РКА. Використання методу скінченних елементів для побудови параметричної моделі конструкції. Методи оцінки адекватності параметричної моделі. Визначення оптимальних величин параметрів конструкції в разі неперетинання областей визначення локальних функцій параметрів.
Тема 2.3. Методи застосування результатів розрахунку НДС конструкції, отримані за допомогою САЕ-систем, в процесі багатопараметричної оптимізації конструкції РКА.	
12.	Лекція 12. Структури даних скінченно-елементних моделей конструкцій РКА та моделей розподілу напружень на деформацій. Структура даних топології скінченно-елементної моделі та розподілу пружних параметрів (масив координат вузлів, типи скінченних елементів та прив'язка номерів скінченних елементів к номерам вузлів, коди матеріалів та масив жорсткостних параметрів скінченних елементів). Структури масивів даних про розподіл нормальних та дотичних напружень в елементах конструкції. Структура масиву даних про деформації елементів конструкції (розрахункові переміщення вузлів скінченно-елементної моделі конструкції). Опис структур даних скінченно-елементної моделі конструкції та масивів деформацій та напружень засобами мови програмування.
13.	Лекція 13. Загальні принципи розробки спеціалізованого програмного забезпечення для пошуку екстремумів функцій параметрів конструкцій. Приклади алгоритмів пошуку екстремумів локальних функцій параметрів конструкцій шляхом числового диференціювання. Типова структура даних програмних модулів, призначених для пошуку екстремумів локальних функцій. Приклади кодування алгоритмів

	пошуку екстремумів локальних функцій за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування C++. Алгоритми погодження оптимальних величин параметрів жорсткості елементів конструкції з урахуванням коефіцієнтів ваги.
<u>Розділ 3</u>	
<u>Системи оптимізації жорсткостних параметрів конструкцій РКА</u>	
Тема 3.1. Структури даних скінченно–елементних моделей та методи їх опису за допомогою об'єктно–орієнтованих засобів.	
14.	Лекція 14. Особливості програмування в об'єктно–орієнтованій системі "SPACE". 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.
15.	Лекція 15. Опис структури даних скінченно–елементної моделі. 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".
Тема 3.2. Алгоритми аналізу параметрів скінченно–елементних моделей конструкцій РКА	
16.	Лекція 16. Аналіз параметрів SE-моделей конструкцій РКА (I частина). Перелік деталей, які повинні моделюватися та їх функціональне призначення. Алгоритми формування структури даних окремих зон моделей. Принципи програмування інтерфейсу відсіку конструкції РКА з типовою CAE-системою.
17.	Лекція 17. Аналіз параметрів SE-моделей конструкцій РКА (II частина). Обмін даними в процесі передачі результатів розрахунку напружено-деформованого стану скінченно-елементної моделі конструкції РКА. Методи і алгоритми аналізу НДС скінченно-елементної моделі в умовах об'єктно-орієнтованої системи керування даними. Методи програмування системи аналізу НДС.
18.	Лекція 18. Реалізація методів багатопараметричної оптимізації конструкції РКА засобами об'єктно-орієнтованої інформаційної технології. Принципи декомпозиції загальної задачі оптимізації. Алгоритми багатопараметричної оптимізації жорсткостних параметрів елементів конструкції. Реалізація оптимізаційних алгоритмів засобами об'єктно-орієнтованої інформаційної технології. Приклади їх програмної реалізації.

Дисципліна "Обчислювальна механіка" передбачає виконання наступних лабораторних робіт:

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд.годин
1.	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.)	10
2.	Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системі керування даними "SPACE", призначених для опису НДС скінченно–елементних моделей конструкцій РКА. (Тема 2.2.)	10
3.	Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системі	8

	<i>керування даними "SPACE", призначених для визначення екстремумів функцій НДС конструкцій РКА. (Тема 2.3.)</i>	
4.	<i>Дослідження властивостей і методів класів об'єктів системі керування даними "SPACE", призначених для визначення оптимальних жорсткостних параметрів конструкцій РКА. (Тема 3.2.)</i>	8

- **Самостійна робота студента**

В процесі вивчення дисципліни "Обчислювальна механіка" студенти складають 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 (РСО)**

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

Календарний контроль: провадиться 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:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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 № 11 від 17.06.20)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 2 від 22.06.20)

Приблизні теми РР:

- 1. Розробка структури даних SE-моделі типового відсіку ракети-носія.*
- 2. Розробка структури даних SE-моделі відсіку космічного апарату (космічного корабля) (4 варіанти).*
- 3. Розробка структури даних SE-моделі збірної конструкції ракети-носія (2 варіанти)*
- 4. Розробка структури даних для опису розподілу пружних параметрів в об'ємному просторі силової структури РКА.*
- 5. Розробка структури даних для опису розподілу кодів матеріалу в об'ємному просторі силової структури РКА.*
- 6. Розробка структури даних для опису величин напружень в скінченних елементах моделі силової структури РКА.*
- 7. Розробка структури даних для опису величин переміщень в узлах моделі силової структури РКА.*
- 8. Розробка схеми обміну даними в процесі визначення розподілу напружень в елементах силової структури РКА.*
- 9. Розробка схеми обміну даними в процесі визначення розподілу деформацій в елементах силової структури РКА.*
- 10. Розробка алгоритму для визначення розподілу нормальних напружень вздовж відсіку РКА.*
- 11. Розробка алгоритму для визначення розподілу нормальних напружень в перерізі відсіку РКА.*
- 12. Розробка алгоритму для визначення розподілу дотчних напружень вздовж відсіку РКА.*
- 13. Розробка алгоритму для визначення розподілу дотчних напружень в перерізі відсіку РКА.*
- 14. Розробка алгоритму опису величин напружень в скінченних елементах моделі силової структури РКА.*
- 15. Розробка алгоритму для опису величин переміщень в узлах моделі силової структури РКА.*
- 16. Розробка схеми обміну даними для підтримки користувальницького інтерфейсу БД сервера, призначеного для розрахунку координат вузлів скінченно-елементних моделей.*
- 17. Розробка алгоритму даними для підтримки користувальницького інтерфейсу мрограмного модуля, призначеного для визначення розподілу напружень.*
- 18. Розробка алгоритму даними для підтримки користувальницького інтерфейсу мрограмного модуля, призначеного для визначення розподілу деформацій.*

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-носіїв 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. Конструктивне 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.*