



ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ІНЖЕНЕРНОМУ АНАЛІЗІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології та інжиніринг у зварюванні</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1-й курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити (лекції – 36 год.; комп'ютерний практикум – 36 год.; самостійна робота – 48 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>https://kpi.ua/#rozkladModal</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Коваль Віктор Вікторович, mdpm@ukr.net Комп'ютерний практикум: к.т.н., доцент, Коваль Віктор Вікторович, mdpm@ukr.net.</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Скінченно-елементні пакети знайшли широке застосування при інженерному аналізі у різноманітних сферах сучасного виробництва як на стадії проектування так і на стадії експлуатації конструкцій, агрегатів та вузлів. Ознайомлення та набуття навичок роботи у САЕ пакеті дозволяє оволодіти сучасними методами моделювання конструкцій при експлуатаційних режимах навантаження, прогнозувати їх міцність, оптимізувати міцнісно-вагові характеристики, спостерігати у режимі реального часу результати віртуального моделювання поведінки конструкції. Вивчення курсу сприяє підвищенню кваліфікації студента як інженера.

Курс “Чисельні методи в інженерному аналізі” складається з лекційних занять та занять з комп'ютерного практикуму, що дозволяє студентам оволодіти практичними навичками користування сучасними системами інженерного комп'ютерного проектування та вирішення актуальних практичних задач в галузі розрахунків на міцність та надійність.

Заключним етапом вивчення даного курсу являється складання заліку.

Метою навчальної дисципліни, є надбання знань і умінь, які дозволяють вирішувати такі типові задачі і проблеми:

- створювати скінченно-елементну модель об'єкта дослідження в САЕ Abaqus;
- моделювати пружну та пружно-пластичну поведінку матеріалу конструкції;
- правильно та обґрунтовано вибирати тип та порядок скінченного-елементу в залежності від геометрії конструкції та типу задачі;
- проводити розрахунок на міцність моделей балочного типу;
- проводити розрахунок на міцність 2D та 3D об'єктів;

- коректно застосовувати функціонал постпроцесора при аналізі напружено-деформованого стану конструкції в цілому або окремого її елемента;
- розв'язувати задачі, пов'язані зі статичним та динамічним навантаженням конструкції з урахуванням впливу температури та зміни зовнішнього експлуатаційного навантаження;
- оптимізувати конструкцію за параметрами міцності та надійності.

Знання

1. Особливостей застосування computer aided пакетів на різноманітних стадіях створення нового об'єкту.
2. Основної технічної літератури з дисципліни (підручники, монографії та ін.).
3. Основних тенденцій розвитку та можливостей сучасних CAE систем.
4. Основи чисельних методів, які застосовуються при розрахунках на міцність.
5. Основи теорії пружності.
6. Основи теорії пластичності.

Уміння

1. Створення та верифікації геометричної моделі об'єкта дослідження.
2. Створення, оптимізації та валідації скінченно-елементних моделей за різних режимів навантаження.
3. Вірно вибрати клас задачі та задати обґрунтовані граничні умови.
4. Оцінювати отримані результати та робити за ними відповідні висновки щодо можливостей експлуатації або удосконалення конструкції.
5. Обґрунтовувати вибрані методи розв'язку та підходи щодо створення розрахункової моделі об'єкту.
6. Використовувати в роботі електронні посібники, вітчизняну та іноземну технічну літературу, рекламні буклети, проспекти, каталоги фірм та ін.

Навички

1. Робота з науково-технічною, нормативною, довідковою літературою, бібліографічними джерелами, галузевими стандартами за тематикою дисципліни.
2. Виконання розрахунків на міцність і надійність за допомогою сучасних систем інженерного комп'ютерного проектування (CAE систем)
3. Самостійне розуміння та осмислювання технічного завдання, побудова розрахункової моделі конструктивного елемента, запуск розрахунку, отримання результатів та створення рекомендацій щодо подальшого застосування даного конструктивного елемента.

Компетентності

1. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
2. Здатність критичного аналізу та прогнозування параметрів працездатності нових та існуючих механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі знання та використання сучасних аналітичних та/або комп'ютеризованих методів і методик.
3. Застосування відповідних методів і ресурсів сучасної інженерії на основі інформаційних технологій для вирішення широкого кола інженерних задач із застосуванням новітніх підходів, методів прогнозування з усвідомленням інваріантності розв'язків.
4. Здатність критичного осмислення проблем у навчанні, професійній і дослідницькій діяльності на рівні новітніх досягнень інженерних наук та на межі предметних галузей.
5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.

6. Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

Програмні результати навчання

1. Знання основних принципів і методик розрахунку на міцність, оцінювання надійності зварних конструкцій в процесі статичного та динамічного навантаження
2. Знання з використання сучасних методів пошуку оптимальних параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного, імітаційного та комп'ютерного моделювання, зокрема і за умов неповної та суперечливої інформації.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Курс “Чисельні методи в інженерному аналізі” базується на знаннях одержаних при вивченні таких курсів, як: “Вища математика”, “Загальна фізика”, “Теоретична механіка”, “Механіка матеріалів і конструкцій”.

Знання, здобуті студентами при вивченні цієї дисципліни, використовуються в подальшому при виконанні магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

- Тема 1.** Сучасне CALS середовище. Його особливості, структура, можливості. Загальні підходи, що застосовуються у елементах CALS середовища.
- Тема 2.** CAE системи і їх роль в сучасному інженерному аналізі. Загальна структура CAE пакету. Геометрична модель, модель матеріалу, скінченно-елементна модель, розрахункова модель. Загальний порядок розрахунків на міцність за допомогою CAE систем.
- Тема 3.** Найбільш поширені наближені розрахункові методи. Їх переваги та недоліки, сфери застосування.
- Тема 4.** Неявний метод скінчено-елементного аналізу.
- Тема 5.** Явний метод скінчено-елементного аналізу.
- Тема 6.** Інтерпретація розрахункових параметрів за допомогою апроксимуючих функцій.
- Тема 7.** Основні типи скінченних елементів, їх класифікація, особливості застосування. Лінійні та квадратичні скінченні елементи. Елементи вищих порядків. Інтегрування результатів розрахунку.
- Тема 8.** Застосування елементів різних порядків при генерації скінченно-елементної сітки. Критерії якості сітки. Особливості побудови для різних класів задач.
- Тема 9.** Нелінійність в задачах механіки. Метод Ньютона-Рафсона. Структура розрахункового кроку.
- Тема 10.** Теорія напруженого стану. Напруження у довільній точці тіла. Головні напруження.
- Тема 11.** Диференційні рівняння рівноваги та симетрія тензора напружень. Екстремальні значення дотичних напружень.
- Тема 12.** Теорія деформованого стану. Тензор деформацій. Головні деформації. Рівняння Коші.
- Тема 13.** Рівняння сумісності деформацій
- Тема 14.** Закон збереження механічної енергії.
- Тема 15.** Перша та друга форма визначальних рівнянь. Закон Дюамеля-Неймана. Тензор пружних сталих. Основна система рівнянь термопружності.
- Тема 16.** Основні теорії міцності. Особливості їх застосування.
- Тема 17.** Основні гіпотези теорії пластичності. Основні критерії виникнення пластичних деформацій у точці навантаженого тіла.
- Тема 18.** Умова пластичності Треска-Сен-Венана. Умова пластичності за Хубертом-Мізесом-Генкі.

Тема 19. Зміцнення матеріалів. Постулат Друкера. Асоційований закон пластичної течії. Теорія малих пружно-пластичних деформацій.

Тема 20. Теорія пластичності ізотропного матеріалу з анізотропним зміцненням.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Яхно Б.О. Abaqus у задачах механіки. Навч. посіб./ Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". — К. : НТУУ "КПІ", 2011. — 128с.
2. Зенкевич. О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир., 1975. - 542с.
3. Бабенко А.Є., Бобир М.І., Бойко С.Л., Боронко О.О. Теорія пружності. Частина 1: Підруч. – К.:Основа, 2009. – 244 с.
4. Лурье А.И. Теория упругости. – М.Наука. 1970.-939с.
5. Можаровський М.С. Теорія пружності, пластичності і повзучості. - К.: Вища шк., 2002. - 308 с.
6. Малинин Н.Н, Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Getting Started with ABAQUS. Interactive edition (<http://130.149.89.49:2080/v6.14/books/gsa/default.htm>)
8. Abaqus User Manual

Додаткова література

1. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. - М. Мир., 1984. - 428с.
2. Сабоннадьер Ж.К., Кулон Ж.Л. Метод конечных элементов и САПР. - М.:Мир., 1983. - 190с.
3. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. на напрямом "Інженерна механіка" / Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". — К. : НТУУ "КПІ", 2007. — 379с.
4. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела. – Самара: Самар. гос.техн. ун-т, 2010. – 131 с.
5. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). - СПб.: Питер, 2004. - 560 с.
6. <http://www.tesis.com.ru/software/abaqus/>
7. <http://www.fea.ru>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекція 1. Процес створення нового виробу. Структура CALS середовища. Принципи та підходи, що реалізуються при інженерному аналізі. Загальна структура CAE пакету. Геометрична модель, модель матеріалу, скінченно-елементна модель, розрахункова модель.

Лекція 2. Структура CAE пакету. Наближені методи інженерного аналізу: метод сіток, метод граничних елементів. Приклади застосування. Переваги та недоліки.

Лекція 3. Наближені методи вирішення задач механіки: метод скінченних елементів. Порівняльний аналіз наближених методів вирішення задач механіки.

Лекція 4. Неявний метод скінчено-елементного аналізу. Застосування неявного методу на прикладі розрахунку консольного стрижня. Матриця жорсткості.

Лекція 5. Явний метод скінчено-елементного аналізу. Застосування явного методу на прикладі розрахунку консольного стрижня. Рівняння динамічної рівноваги.

Лекція 6. Функція форми скінченного елемента. Порядок скінченного елемента.

Лекція 7. Особливості використання Full та Reduced integration елементів. Основні типи елементів в CAE Abaqus. Особливості побудови сітки скінченних елементів. Критерії якості сітки.

Лекція 8. Метод Ньютона-Рафсона: реалізація та особливості. Структура розрахункового кроку. Основи теорії пружності: основні гіпотези та припущення.

Лекція 9. Теорія напруженого стану. Напруження у довільній точці тіла. Структура тензора напружень. Головні напруження. Визначення інтенсивності напружень у довільній точці тіла.

Лекція 10. Диференційні рівняння рівноваги та симетрія тензора напружень. Екстремальні значення дотичних напружень.

Лекція 11. Теорія деформованого стану. Тензор деформацій. Головні деформації. Рівняння Коші.

Лекція 12. Рівняння сумісності деформацій. Закон збереження механічної енергії.

Лекція 13. Перша форма визначальних рівнянь теорії пружності

Лекція 14. Друга форма визначальних рівнянь теорії пружності. Закон Дюамеля-Неймана. Тензор пружних сталей. Основна система рівнянь термопружності.

Лекція 15. Основні теорії міцності. Особливості їх застосування. Основи теорії пластичності: основні гіпотези, поняття про гіперповерхню пластичності. Умова пластичності Треска-Сен-Венана. Умова пластичності за Хубертом-Мізесом-Генкі. Постулат Друкера.

Лекція 16. Основи теорії пластичності: асоційований закон пластичної течії, теорія пластичної течії.

Лекція 17. Основи теорії пластичності: теорія малих пружно-пластичних деформацій.

Лекція 18. Основи теорії пластичності: теорія пластичності ізотропного матеріалу з анізотропним зміцненням

Лабораторні заняття (Комп'ютерний практикум)

Комп'ютерний практикум №1. Ознайомлення з інтерфейсом та можливостями САЕ Abaqus

Комп'ютерний практикум №2. Основи геометричного моделювання. Освоєння операцій створення базових геометричних елементів. Встановлення розмірів, прив'язок. Робота з допоміжною геометрією. Побудова деталі «прокладка»

Комп'ютерний практикум №3. Освоєння операції спряження кривих. Побудова деталі «прокладка»

Комп'ютерний практикум №4. Основи 3D моделювання. Операції витягування, обертання, протягування. Побудова простих комбінованих геометричних об'єктів

Комп'ютерний практикум №5. Створення допоміжної геометрії у 3D. Побудова деталей «вал», «шпонка». Побудова шліців.

Комп'ютерний практикум №6. Підсумкова самостійна робота за матеріалами комп'ютерних практикумів №1-№5. Побудова 2D та 3D об'єктів.

Комп'ютерний практикум №7. Побудова деталей «шестерня» та «підшипник». Робота з модулем «Збірка». Булеві операції модуля. Робота з «залежною» та «незалежною» геометрією.

Комп'ютерний практикум №8. Розрахунок на міцність просторової стрижневої системи «ферма». Основи роботи з постпроцесором.

Комп'ютерний практикум №9. Розрахунок на міцність деталі «ланка» у пружній постановці.

Комп'ютерний практикум № 10. Розрахунок на міцність згину труби.

Комп'ютерний практикум № 11. Контактна задача. Визначення умов контакту. Робота з модулем «Взаємодія»

Комп'ютерний практикум № 12. Підсумкова самостійна робота за матеріалами комп'ютерних практикумів №7-№11. Розрахунок на міцність 2D та 3D об'єктів.

Комп'ютерний практикум № 13. Визначення напружень та деформацій, що виникають при посадці з натягом.

Комп'ютерний практикум № 14. Розрахунок на міцність при ударі.

Комп'ютерний практикум № 15. Розрахунок елемента конструкції за умов дії температурного поля.

Комп'ютерний практикум № 16. Дослідження частотних характеристик об'єкта

Комп'ютерний практикум № 17. Розрахунок конструкції на стійкість.

Комп'ютерний практикум № 18. Залікове заняття.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Основи геометричного моделювання. Побудова деталі «прокладка» <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
2	Основи геометричного моделювання. Побудова 3D об'єкту з використанням допоміжної геометрії. <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	3
3	Робота з модулем «збірка». Позиціонування та булеві операції <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	3
4	Розрахунок на міцність стрижневої конструкції за різних граничних умов та комбінованої геометрії перерізу. <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	4
5	Розрахунок 2D елемента <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
6	Розрахунок на міцність 3D об'єкту. <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
7	Розрахунок на міцність елементів контактної задачі <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
8	Аналіз розподілу деформацій при дії температурного поля <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
9	Дослідження частотних характеристик <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача для закріплення матеріалу комп'ютерного практикуму</i>	2
10	Поняття про функцію форми елемента <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	2
11	Основні наближені методи вирішення задач механіки. <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	6
12	Закон збереження механічної енергії <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	2

13	Перша та друга форми визначальних рівнянь теорії пружності <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	4
14	Основна система рівнянь теорії пружності. Закон Дюамеля-Неймана. Тензор пружних сталих. <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	4
15	Основні гіпотези теорії пластичності. Основні критерії виникнення пластичних деформацій у точці навантаженого тіла. <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	4
16	Асоційований закон пластичної течії. Теорія малих пружно-пластичних деформацій. <i>Передбачається поглиблене вивчення теоретичного матеріалу в рамках вказаної теми.</i>	4

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Відвідування всіх видів навчальних занять з дисципліни є для студентів обов'язковим. Контроль присутності студентів на заняттях здійснюється викладачем на початку заняття.

Відсутність студента на заняттях може бути тільки в разі поважної причини (хвороба, підтверджена медичною довідкою, або офіційний дозвіл від деканату). Матеріали пропущених занять мають бути відпрацьованим самостійно. Відпрацювання робіт з комп'ютерного практикуму, або їх перездача у разі одержання незадовільної оцінки, здійснюється за індивідуальним графіком, погодженим з викладачем.

Правила поведінки на заняттях

Студенти на заняття мають з'являтися своєчасно, без запізень.

На лекційних заняттях студенти повинні мати конспекти. Під час проведення лекційних занять та на заняттях з комп'ютерного практикуму не допускаються сторонні розмови, користування комп'ютерами, смартфонами, мобільними телефонами без дозволу викладача.

Правила оцінювання лабораторних робіт

Оцінювання роботи виконаної під час комп'ютерного практикуму відбувається згідно наведених нижче у п.8 критеріїв.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Ці правила відображені в рейтинговій системі оцінювання (див. п. 8)

Політика дедлайнів та перескладань

Завдання, запропоновані студентам для виконання на комп'ютерному практикумі, мають бути виконані протягом практичного заняття та оцінюються наприкінці нього викладачем. Оцінювання ступені та якості виконання завдання відбувається відповідно до вимог п.8. Робота, виконана після завершення практичного заняття не оцінюється. Винятком є наявність поважної причини щодо відсутності студента на занятті. В такому разі відпрацювання заняття відбувається за індивідуальним графіком, погодженим з викладачем.

Політика щодо академічної доброчесності

В процесі вивчення дисципліни студенти виконують завдання з комп'ютерного практикуму та підсумкові самостійні роботи. При цьому студенти і викладачі на взаємній основі керуються принципами академічної доброчесності стосовно неприпустимості плагіату, фальсифікації результатів роботи, корупційних проявів тощо. У разі виявлення плагіату або фальсифікації результатів роботи під час виконання студентом завдань бали за це завдання автоматично анулюються.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Протягом семестру виконуються такі види контролю успішності студентів у вивченні дисципліни:

- **Поточний контроль.** Включає оцінювання виконання завдань з комп'ютерного практикуму та підсумкових самостійних робіт
- **Календарний контроль.** Проводиться двічі на семестр, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- **Семестровий контроль.** Залік.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) виконання завдань з комп'ютерного практикуму;
- 2) написання підсумкових самостійних робіт;
- 3) штрафних та заохочувальних балів.

8.1. Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

8.1.1. Робота на заняттях з комп'ютерного практикуму

Бали нараховуються за виконання завдань на заняттях з комп'ютерного практикуму № 2-5, №7-12, та № 14-17. Ваговий бал для кожного завдання становить 100/14. Завдання складається з основної (викладеної у протоколі) та додаткової (творчої, запропонованої викладачем) частини.

Критерії оцінювання якості виконання завдання:

<i>Критерій</i>	<i>Основна частина, бали</i>	<i>Творча частина, бали</i>
завдання виконано повністю вірно	0,85*100/14	0,15*100/14
завдання виконано з незначними неточностями (розрахунковий файл запускається але: сітка елементів не оптимізована, незначні помилки у значенні навантаження або у величині механічних характеристик, геометрія конструкції має незначні похибки, тощо)	0,9*0,85*100/14	0,9*0,15*100/14
завдання виконано зі значними помилками (розрахунковий файл не запускається на розрахунок, невірно визначений або заданий тип навантаження, помилка у визначенні перерізу або моделі матеріалу, тощо)	0,8*0,85*100/14	0,8*0,15*100/14
завдання не виконано, але наявна геометрична модель та вірно введені параметри моделі матеріалу	0,6*0,85*100/14	0,6*0,15*100/14
завдання не виконано	0	0

8.1.2. Підсумкові самостійні роботи

За результатами виконання підсумкових самостійних робіт визначаються відповідні коефіцієнти K_{CP} , що впливають на загальну кількість набраних студентом балів.

Критерії оцінювання виконання підсумкової самостійної роботи №1:

Завдання №1:

- завдання виконано повністю вірно – $K_{ср1}=1$
- завдання виконано з незначними неточностями (відсутні/не вірно вказані не більше 2-х креслярських розмірів деталі та/або відсутні не більше 3-х обов'язкових прив'язок) – $K_{ср1}=0,90$
- завдання виконано зі значними помилками (відсутні/не вірно вказано 3 креслярські розміри деталі та/або відсутні 4-5 обов'язкові прив'язки) – $K_{ср1}=0,80$
- завдання виконано зі значними помилками (відсутні/не вірно вказано 4 креслярські розміри деталі та/або відсутні 6-7 обов'язкові прив'язки) – $K_{ср1}=0,70$
- завдання виконано зі суттєвими помилками: наявні основні контури геометричної моделі але відсутні/не вірно вказано більше 4-х креслярських розмірів деталі та/або відсутні більше 7-ми обов'язкових прив'язок – $K_{ср1}=0,00-0,60$ (в залежності від фактичного обсягу виконаного завдання)
- завдання не виконано – $K_{ср1}=0$

Завдання №2:

- завдання виконано повністю вірно – $K_{ср2}=1$
- завдання виконано з незначними неточностями (деталь побудована на 100% але є помилка у розмірі, невірне позиціонування елемента 3D об'єкту, незначна неточність при побудові елементів 3D об'єкту тощо) – $K_{ср2}=0,90$
- завдання виконано не у повному обсязі (деталь побудована не менше, ніж на 75%) – $K_{ср2}=0,80$
- завдання виконано не у повному обсязі (деталь побудована не менше, ніж на 60%) – $K_{ср2}=0,70$
- завдання виконано не у повному обсязі: деталь побудована менше ніж на 60% та/або наявна лише опорна/базова геометрія для повної побудови деталі – $K_{ср2}=0,00-0,60$ (в залежності від фактичного обсягу виконаного завдання)
- завдання не виконано – $K_{ср2}=0$

Критерії оцінювання виконання підсумкової самостійної роботи №2:

За результатами виконання двох завдань підсумкової самостійної роботи № 2 визначаються коефіцієнти $K_{ср3}$ та $K_{ср4}$. При цьому критерії оцінювання кожного завдання цієї роботи однакові та представлені нижче:

- завдання виконано повністю вірно – $K_{ср3}=1, K_{ср4}=1$
- завдання виконано з незначними неточностями (файл моделі запускається на розрахунок, але наявна одна помилка, наприклад: помилка при введенні розмірів конструкції або невірно введені параметри матеріалу, або невірно побудована геометрична модель з точки зору її компоновки, або невірно задані граничні умови, тощо) – $K_{ср3}=0,90, K_{ср4}=0,90$
- завдання виконано зі значними помилками (файл моделі запускається на розрахунок, але сумарно наявна будь-яка комбінація з двох типових помилок, наприклад: помилка при введенні розмірів конструкції або невірно введені параметри матеріалу, або невірно побудована геометрична модель з точки зору її компоновки, або невірно задані граничні умови, тощо) – $K_{ср3}=0,80, K_{ср4}=0,80$
- завдання виконано зі значними помилками (файл моделі не запускається на розрахунок або сумарно наявна будь-яка комбінація з трьох типових помилок, наприклад: помилка при введенні

розмірів конструкції або невірно введені параметри матеріалу, або невірно побудована геометрична модель з точки зору її компоновки, або невірно задані граничні умови, тощо) – $K_{cp3}=0,70$, $K_{cp4}=0,70$

- завдання виконано зі суттєвими помилками: розрахунковий файл не сформований проте наявні основні елементи геометричної моделі та пройдені основні модулі формування розрахункової моделі, але вони містять неповну чи невірну інформацію – $K_{cp3}=0,00-0,60$, $K_{cp4}=0,00-0,60$ (в залежності від фактичного обсягу виконаного завдання)

- завдання не виконано – $K_{cp3}=0$, $K_{cp4}=0$

8.1.3. Заохочувальні бали нараховуються за:

Участь в розробці нових завдань з комп'ютерного практикуму, допомозі у підготовці наукового лекційного матеріалу, допомозі у створенні електронного методичного матеріалу (за умови виконання навчальної програми з дисципліни) - від +1 до +10 балів.

8.2. Розрахунок шкали (R) рейтингу

Сума набраних рейтингових балів може бути розрахована як:

$$R = \sum КП_{2-5} \times \left(\frac{K_{cp1} + K_{cp2}}{2} \right) + \sum КП_{7-11} \times \left(\frac{K_{cp3} + K_{cp4}}{2} \right) + ЗБ$$

де $\sum КП_{2-5}$ – сума балів, набраних за завдання з комп'ютерних практикумів № 2-5;

$\sum КП_{7-11}$ – сума балів, набраних за завдання з комп'ютерних практикумів № 7-11;

K_{cp1} , K_{cp2} , K_{cp3} та K_{cp4} – коефіцієнти за виконання завдань на підсумкових самостійних роботах;

ЗБ – сума заохочувальних балів.

8.3. Атестації

Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 50% з усіх можливих балів за виконані завдання з початку навчального семестру і до моменту проведення атестації. Умовою позитивної другої атестації є отримання не менше 50% з усіх можливих балів за виконані завдання за інтервал від першої атестації і до моменту проведення другої атестації.

8.4. Критерії оцінювання:

Набрані протягом навчального семестру бали переводяться до залікової оцінки згідно таблиці:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно (виконується залікова робота за умови допуску до заліку)
Кількість виконаних на позитивну оцінку завдань з комп'ютерного практикуму становить менше 8	Не допущено

У разі, якщо кількість набраних балів складає менше 60 або студент бажає отримати вищу оцінку за отриману залікову оцінку «Достатньо» або «Задовільно» – виконується залікова робота. При цьому всі набрані бали протягом семестру анулюються і кількість рейтингових балів стає рівною 0. Залікова робота складається з двох теоретичних питань та двох практичних завдань.

Кожне теоретичне питання максимально оцінюється в 20 балів за наступними критеріями:

- повна відповідь на запитання – 20 балів;
- відповідь, що містить незначні неточності – 15-19 балів;
- неповна відповідь – 12-14 балів;
- відповідь відсутня, містить значні неточності – 0-12 балів.

Кожне практичне завдання оцінюється максимально в 30 балів з урахуванням співбесіди з викладачем за наступними критеріями:

- повністю правильно виконане завдання – 30 балів;
- завдання виконане з незначними помилками, розрахунковий файл запускається на розрахунок (невірна розмірність, незначні помилки в геометрії або при визначенні граничних умов, неоптимізована сітка скінченних елементів, тощо) – 23-29 бали;
- завдання виконане зі значними помилками (розрахунковий файл не запускається на розрахунок, невірно визначений клас задачі, значні помилки при побудові геометричної моделі, визначенні граничних умов, тощо) – 18-23 бали;
- завдання не виконане або містить лише кілька відпрацьованих модулів з усієї процедури створення розрахункової моделі – 0-18 балів.

У разі, якщо студент бажає отримати вищу оцінку за отриману залікову оцінку «Добре» або «Дуже добре» – проводиться залікова співбесіда з викладачем за матеріалами пройденого курсу, що складається з 5 додаткових базових питань або базових завдань. За результатами співбесіди до рейтингу студента можуть бути додані додаткові бали за кожну вірну відповідь на запитання/кожне вірно виконане завдання. При цьому максимальна кількість балів, що може бути отримана за одне запитання/завдання складає:

$$ЗР = \frac{(100 - R)}{5}$$

Кожне питання/завдання оцінюється за наступними критеріями:

- повна відповідь на запитання – ЗР балів;
- відповідь, що містить незначні неточності – 0,75*ЗР...0,95*ЗР балів;
- неповна відповідь – 0,65*ЗР...0,75*ЗР балів;
- відповідь відсутня, містить значні неточності – 0...0,6*ЗР балів.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «ІНЖЕНЕРНО-НАУКОВІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ», ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЗАЛІК

- 1) Складові CALS середовища. Їх застосування при проектуванні нового виробу.
- 2) Поняття САПР. Поділ САПР за призначенням та типами
- 3) Геометрична модель. Модель матеріалу. Розрахункова модель. Загальна структура CAE пакету
- 4) Метод скінченних різниць. Переваги та недоліки.
- 5) Метод граничних елементів. Переваги та недоліки.
- 6) Метод скінченних елементів. Переваги та недоліки.
- 7) Неявний метод скінченно-елементного аналізу. Поняття про матрицю жорсткості.
- 8) Явний метод скінченно-елементного аналізу
- 9) Функція форми елемента. Загальні властивості. Приклад реалізації для лінійного елемента.
- 10) Скінченні елементи першого та другого порядку. Функція форми для 2D елемента першого та другого порядку.
- 11) Full Integration та Reduced Integration елементи.
- 12) Ефект блокування зсуву та ефект «пісочного годинника» для скінченних елементів.
- 13) Типи скінченних елементів. Їх позначення.
- 14) Загальні правила побудови скінченно-елементної сітки.
- 15) Основні методи генерації сітки скінченних елементів. Особливості їх використання.
- 16) Граничні умови. Загальні правила визначення граничних умов.
- 17) Приклади нелінійності у задачах механіки.
- 18) Метод Ньютона-Рафсона
- 19) Поняття про розрахунковий крок.
- 20) Напружений стан. Структура тензора напружень. Головні напруження.
- 21) Диференційні рівняння рівноваги
- 22) Деформований стан. Тензор деформацій. Головні деформації.
- 23) Рівняння Коші.
- 24) Рівняння сумісності деформацій
- 25) Закон збереження механічної енергії.
- 26) Перша форма визначальних рівнянь теорії пружності
- 27) Друга форма визначальних рівнянь теорії пружності.
- 28) Закон Дюамеля-Неймана. Тензор пружних сталей. Основна система рівнянь термопружності.
- 29) Основні теорії міцності.
- 30) Основні гіпотези теорії пластичності. Гіперповерхня пластичності. Критерії виникнення пластичних деформацій
- 31) Умова пластичності Треска-Сен-Венана
- 32) Умова пластичності за Хубертом-Мізесом-Генкі
- 33) Постулат Друкера
- 34) Асоційований закон пластичної течії.
- 35) Теорія малих пружно-пластичних деформацій
- 36) Теорія пластичності ізотропного матеріалу з анізотропним зміцненням

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Склав доцент кафедри ДММ та ОМ, к.т.н. Коваль В.В.

Ухвалено кафедрою ДММ та ОМ (протокол № ___ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № __ від _____)
