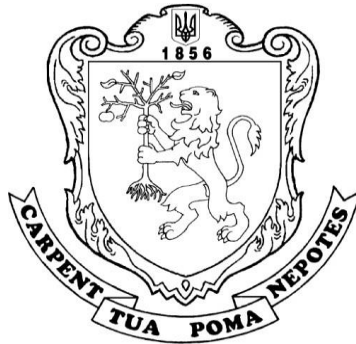


Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет будівництва та архітектури
Кафедра будівельних конструкцій



СИЛАБУС

НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ»

для студентів спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

Розробник:
кандидат технічних наук, доцент
Боднар Юрій Іванович

Львів 2024

Анотація курсу

Навчальна дисципліна "Числове моделювання у будівництві" є обов'язковою навчальною дисципліною, що належить до циклу професійної підготовки за освітньо-професійною програмою "Будівництво та цивільна інженерія" спеціальності 192 – "Будівництво та цивільна інженерія" галузі знань 19 – "Архітектура та будівництво" другого (магістерського) рівня вищої освіти. Обсяг дисципліни 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є оволодіння навиками моделювання конструктивних елементів на основі методу скінчених елементів для аналізу напружено-деформованого стану, температурних полів, температурних потоків.

У результаті вивчення дисципліни здобувач вищої освіти буде:

знати: основні положення методу скінчених елементів, основні вимоги для забезпечення збіжності задач та необхідної точності;

уміти: моделювати задачі визначення полів напружень, деформацій, переміщень, температури з використанням скінчених елементів різних типів, аналізувати отримані результати розрахунків;

Завданням навчальної дисципліни є набуття студентами наступних компетентностей:

- *загальних*

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 4. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації, сприймати набуті знання в предметній області та інтегрувати їх із уже наявними.

- *спеціальних*

СК 4. Здатність проводити обстеження, випробування, діагностику та розрахунки конструкцій при розв'язанні фахових задач.

СК 6. Здатність використовувати комп'ютерні програми, що існують в галузі будівництва, при вирішенні складних інженерних задач..

2. Програмні результати навчання

ПРН 1. Проектувати будівлі і споруди, в тому числі з використанням програмних систем комп'ютерного проектування, з метою забезпечення їх надійності та довговічності, прийняття раціональних проектних та технічних рішень, техніко-економічного обґрунтування, враховуючи особливості експлуатації при збереженні умов з ресурсо-та енергозбереження.

ПРН 5. Уміти використовувати норми проектування, стандарти, довідники, засоби автоматизації проектування, спілкуватися українською та іноземною мовами для вирішення професійних проблем і результатів діяльності у сфері архітектури та будівництва.

ПРН 6. Застосовувати методи вищої та прикладної математики у виробничих задачах розрахунку, проектування та зведення будівель та споруд.

ПРН 12. Збирати необхідну технічну інформацію за фахом, аналізувати і оцінювати її, використовувати науково-технічну літературу в проектуванні та виробництві.

Інформаційний обсяг навчальної дисципліни

Вступ. Математичне моделювання напружено-деформованого стану будівель, споруд та їх елементів. Параметри напружено-деформованого стану конструктивних елементів. Постановка просторової та плоскої задач про визначення полів напружень, деформацій. Огляд програмних засобів в основі яких лежить метод скінчених елементів.

Суть методу скінчених елементів (МСЕ). Особливості застосування МСЕ до моделювання просторових тіл на відміну від стержневих. Переваги та недоліки МСЕ.

Постановка задач аналізу напружено-деформованого стану у рамках методу скінченних елементів. Програмний комплекс ЛІРА-САПР.

Метод скінченних елементів у задачах про плоский напружений стан чи плоску деформацію. Плоский тривузловий трикутний елемент. Функції форми. Врахування граничних умов. Плоский чотиривузловий прямокутний елемент. Функції форми. Функції форми для найбільш вживаних плоских елементів їх вплив на моделювання. Плоскі задачі визначення напружено-деформованого стану будівельних конструкцій.

Згин пластин. Постановка задач теорії тонких жорстких пластин. Внутрішні зусилля та напруження. Метод скінченних елементів у задачах пластин. Задачі про згин пластин у будівництві.

Розрахункові схеми основ при розрахунку плитних фундаментів. Визначення коефіцієнтів постелі. Розрахунок фундаментної плити методом скінченних елементів з використанням коефіцієнтів постелі.

Температурні задачі у будівництві. Стаціонарні та нестаціонарні задачі. Постановка. Граничні умови. Програмні засоби.

Особливості постановок задач при дослідженні параметрів теплопередачі для термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій, моделювання задач пожежної безпеки і вогнестійкості, моделювання технологічних задачах прогріву бетону при зимовому бетонуванні, моделювання глибини промерзання ґрунту (нестаціонарна задача).

Організація навчання

Основними видами навчальних аудиторних занять, під час яких здобувачі вищої освіти отримують необхідні знання, є лекції, практичні заняття та консультації.

При викладанні лекційного матеріалу передбачено поєднання таких форм і методів навчання, як лекції-бесіди і лекції-візуалізації. Лекція-бесіда забезпечує безпосередній контакт викладача з аудиторією і дозволяє привернути увагу здобувачів вищої освіти до найбільш важливих питань теми лекції, визначити у процесі діалогу особливості сприйняття навчального матеріалу здобувачами вищої освіти.

Лекція-візуалізація – візуальна форма подачі лекційного матеріалу з розгорнутим або коротким коментуванням візуальних матеріалів, що переглядають технічними засобами навчання або аудіо-відеотехніки.

Здобувачі вищої освіти на практичних заняттях працюють з друкованим *інформативним* матеріалом або з матеріалом мережі Інтернет, виконують письмові завдання (розв'язують задачі, контрольні питання або тести). Також студенти у рамках самостійної роботи виконують розрахункові роботи, захищають виконані розрахункові роботи. Поглиблене вивчення окремих питань дисципліни можливе у рамках студентського наукового гуртка. За результатами такої роботи студенти готують презентації, виступають на студентських наукових конференціях, готують публікації.

Лекційні заняття

№ з/п	Тема, питання що вивчаються
1.	Тема 1. Вступ. Математичне моделювання напружено-деформованого стану будівель, споруд та їх елементів. Параметри напружено-деформованого стану конструктивних елементів. Постановка просторової та плоскої задач про визначення полів напружень, деформацій. Огляд програмних засобів в основі яких лежить метод скінченних елементів.
2.	Тема 2. Суть методу скінченних елементів (МСЕ). Особливості застосування МСЕ до моделювання просторових тіл на відміну від стержневих. Переваги та недоліки МСЕ. Постановка задач аналізу напружено-деформованого стану у рамках методу скінченних елементів. Програмний комплекс ЛІРА-САПР.

3.	Тема 3. Метод скінченних елементів у задачах про плоский напружений стан чи плоску деформацію. Плоский тривузловий трикутний елемент. Функції форми. Врахування граничних умов. Плоский чотиривузловий прямокутний елемент. Функції форми. Функції форми для найбільш вживаних плоских елементів їх вплив на моделювання. Плоскі задачі визначення напружено-деформованого стану будівельних конструкцій.
4.	Тема 4. Згин пластин. Постановка задач теорії тонких жорстких пластин. Внутрішні зусилля та напруження. Метод скінченних елементів у задачах пластин. Задачі про згин пластин у будівництві.
5.	Тема 5. Розрахункові схеми основ при розрахунку плитних фундаментів. Визначення коефіцієнтів постелі. Розрахунок фундаментної плити методом скінченних елементів з використанням коефіцієнтів постелі..
6.	Тема 6. Температурні задачі у будівництві. Стаціонарні та нестаціонарні задачі. Постановка. Граничні умови. Програмні засоби..
7.	Тема 7. Особливості постановок задач при дослідженні параметрів теплопередачі для термічно неоднорідних огорожувальних конструкцій
8.	Тема 8. Моделювання задач пожежної безпеки і вогнестійкості, моделювання технологічних задачах прогріву бетону при зимовому бетонуванні, моделювання глибини промерзання ґрунту (нестаціонарна задача).

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми
1	Застосування ПК ЛИРА-САПР до моделювання напружено-деформованого стану елементів будівель та споруд.
2	Дослідження методом скінченних елементів плоского напруженого стану балки-стілки
3	Дослідження методом скінченних елементів напружено-деформованого стану при згині пластини
4	Дослідження методом скінченних елементів температурних полів будівельних конструкцій, матеріалів.

Самостійна робота

№ з/п	Назва теми
1	Комплексна практична робота «Моделювання методом скінченних елементів тонкої консольної балки прямокутного перерізу та дослідження її напружено-деформованого стану»
2	Комплексна практична робота «Аналіз роботи плити методом скінченних елементів»
3	Комплексна практична робота «Визначення температурного поля огорожувальних конструкцій та теплових потоків через них»

Методи контролю та оцінювання

1. *Усне опитування* (фронтальне, індивідуальне, детальний аналіз відповідей).
2. *Письмова аудиторна та позааудиторна перевірка* – розв'язування задач, контрольні роботи, тести, індивідуальні роботи.

Види контролю: Поточний, проміжний та семестровий контроль

Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль та самостійна робота								Екзамен	Сума
T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8	50 балів	100
4	4	10	10	4	4	10	4		

T1, T2 ... – теми лекційного курсу

Відпрацювання пропущених занять студентами здійснюється згідно «Положення про порядок відпрацювання студентами Львівського національного університету природокористування пропущених лекцій, практичних, лабораторних та семінарських занять» https://www.lnup.edu.ua/files/principle_NMVZYAVO/20.pol_pro_vidprapts_student_propus_zanyat.pdf. Студент самостійно опрацьовує та представляє конспект з пропущеної теми лекційного курсу та опрацьовує і здає практичний матеріал (контрольна задача, тести) з відповідної теми.

Студент самостійно виконує індивідуальні роботи згідно наведеної вище тематики.

Форма підсумкового контролю успішності навчання: екзамен.

Критерії поточного оцінювання

Поточне оцінювання охоплює як аудиторну так і самостійну роботу. Поточне оцінювання здійснюється у формі усного опитування, тестів, контрольних робіт з розв'язуванням задач, захисту індивідуальних робіт.

Оцінювання здійснюється згідно «Положення про критерії оцінювання знань та вмінь студентів Львівського національного університету природокористування».

https://www.lnup.edu.ua/files/principle_NMVZYAVO/45.pol_pro_kryt_ocin_znan_vmin_stud.pdf

Загальні критерії оцінок: **-відмінно!** – здобувач вищої освіти виявив всебічні, систематичні та глибокі знання навчального матеріалу дисципліни, передбаченого програмою; опрацював основну та додаткову літературу, рекомендовану програмою; проявив творчі здібності у розумінні, логічному трактуванні навчального матеріалу; засвоїв взаємозв'язок основних понять дисципліни, їх значення для подальшої професійної діяльності. **-добре!** – здобувач вищої освіти виявив систематичні та глибокі знання вище середнього рівня; продемонстрував уміння виконувати завдання, передбачені програмою; опрацював літературу, рекомендовану програмою; засвоїв взаємозв'язок основних понять дисципліни, їх значення для подальшої професійної діяльності. **-задовільно!** – здобувач вищої освіти виявив знання навчального матеріалу дисципліни в обсязі, необхідному для подальшого навчання та майбутньої професійної діяльності; виконав завдання, передбачені програмою; ознайомився з основною літературою, що зазначена у програмі; припустив значну кількість помилок у відповідях на запитання співбесіди, тестування, при виконанні завдань тощо, які може усунути самостійно. **-незадовільно!** – здобувач вищої освіти не має знань зі значної частини навчального матеріалу; припускає принципові помилки при виконанні більшості передбачених програмою завдань.

Питання, які виносять на екзамен

1. Суть методу скінченних елементів (МСЕ). Особливості застосування МСЕ до моделювання просторових тіл на відміну від стержневих. Додаткові гіпотези.
2. Суть методу скінченних елементів. Переваги та недоліки МСЕ. Основні невідомі МСЕ у формі методу переміщень.
3. Суть методу скінченних елементів. Алгоритм розрахунку методом скінченних елементів.
4. Об'ємний напружений стан: напруження, деформації. Скінченні елементи для моделювання об'ємного напруженого стану.
5. Плоский напружений стан: напруження, деформації. Скінченні елементи для моделювання плоского напруженого стану, розподіл напружень та деформацій.
6. Плоский деформований стан: напруження, деформації. Основні співвідношення методу скінченних елементів для задачі про плоский деформований стан.
7. Опишіть структуру і принципи побудови програмних комплексів на базі методу скінченних елементів для визначення напружено-деформованого стану конструкцій.
8. Основні положення моделювання балок-стінок (плоский напружений стан) методом скінченних елементів.
9. Плоский трикутний тривузловий скінченний елемент; розподіл переміщень, напружень та деформацій.
10. Плоский чотиривузловий скінченний елемент; розподіл переміщень напружень та деформацій.
11. Характеристики найбільш вживаних плоских скінченних елементів.
12. Класифікація пластин (плит). Особливості їх роботи. Гіпотези теорії тонких пластин.
13. Класифікація пластин. Основні співвідношення теорії пластин.
14. Граничні умови пластин; їх представлення у ПК Ліра.
15. Згин тонких жорстких пластин: зусилля в перерізах. Скінченні елементи для моделювання тонких жорстких пластин.
16. Згин тонких жорстких пластин: розподіл напружень по товщині пластини, їх зв'язок із зусиллями.
17. Опишіть процес постановки задачі про розрахунок балки-стінки у ПК ЛІРА-САПР та аналізу результатів.
18. Опишіть процес постановки задачі про розрахунок тонкої плити у ПК ЛІРА-САПР та аналізу результатів.
19. Опишіть можливі способи розбиття на скінченні елементи балки-стінки у рамках ПК ЛІРА САПР.
20. Опишіть можливі способи розбиття на скінченні елементи плити у рамках ПК ЛІРА САПР.
21. Опишіть способи візуалізації та аналізу результатів розрахунків балки-стінки у рамках ПК ЛІРА САПР.
22. Опишіть способи візуалізації та аналізу результатів розрахунків згину плити у рамках ПК ЛІРА САПР.
23. Способи задання параметрів жорсткостей для стержневих систем та пластин у рамках ПК ЛІРА САПР.
24. Розрахунок фундаментної плити методом скінченних елементів у рамках ПК ЛІРА САПР з використанням коефіцієнтів постелі.
25. Постановка та граничні умови для задач про визначення температурного поля та теплового потоку через термічно неоднорідні огорожувальні конструкції будівель.
26. Моделювання температурних задач при дослідженні вогнестійкості конструкцій.
27. Моделювання технологічних задачах прогріву бетону при зимовому бетонуванні.
28. Моделювання глибини промерзання ґрунту (нестационарна задача).

Рекомендована література

1. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, 2013. 756 p.
2. Боднар Ю.І. Числове моделювання будівельних конструкцій. Методичні рекомендації до

практичних занять для студентів заочної форми навчання спеціальності 8.06010101 «Промислове і цивільне будівництво». Львів:ЛНАУ. 2015. 20 с

3. Боднар Ю.І. Числове моделювання будівельних конструкцій. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 8.06010101 «Промислове і цивільне будівництво». Львів:ЛНАУ. 2016. 24 с

3. Боднар Ю.І. Числове моделювання у будівництві. Моделювання теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель. Методичні рекомендації до практичних занять студентів РВО «Магістр» за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” ОПП “Будівництво та цивільна інженерія”. Львів:ЛНУП.2023. 24 с

Інформаційні ресурси

1. Бібліотечно-інформаційні ресурси— книжковий фонд, періодика та фонди на електронних носіях бібліотеки ЛНАУ, державних органів науково-технічної інформації, наукових, науково-технічних бібліотек та інших наукових бібліотек України.
2. Електронні інформаційні ресурси мережі Інтернет:
 - Офіційний сайт групи компаній «LIRALAND»
<https://www.liraland.ua/>
 - Некомерційна версія ЛІРА-САПР 2016 R5
<https://www.liraland.ua/lira/2016-free.php>
 - Agros Suite. A multiplatform application for the solution of physical problems.
<http://www.agros2d.org/>

Політика курсу («правила гри») в аудиторний час

Курс передбачає роботу в колективі. Студенти під час лекційних занять ведуть конспект з відповідної теми. Під час заняття або ж в кінці лектор ставить питання, веде діалог з аудиторією для кращого засвоєння теоретичного матеріалу. Середовище в аудиторії є дружнім, творчим, відкритим до конструктивної критики. Усі завдання, передбачені програмою, мають бути виконані у встановлений термін. Якщо здобувач вищої освіти відсутній з поважної причини, він/вона презентує виконані завдання під час самостійної підготовки та консультації викладача. Під час роботи над індивідуальними завданнями не допустимо порушення академічної доброчесності.