

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено
Вченою радою
Запорізького національного університету
протокол № 2 від 18.09.2022 р.
Голова Вченої ради, ректор

М. О. Фролов



ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
ступеня доктора філософії

Укладач:

Гоменюк С. І., професор кафедри програмної інженерії, доктор технічних наук, професор

Погоджено:

Проректор з наукової роботи

Проректор з науково-педагогічної роботи

Зав. відділу аспірантури і докторантури

Г. М. Васильчук

Ю. О. Каганов

О. П. Єфіменкова

Запоріжжя 2022

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна, вечірня, заочна форми навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань <u>усі галузі</u> (шифр і назва)	нормативна
		Цикл загальної підготовки
Змістових модулів – 6	Спеціальність <u>усі спеціальності</u> (шифр і назва)	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 120*		1-й
Освітньо-наукова програма <u>усі програми</u> (вписати назви усіх програм)		Лекції 16 год.
		Практичні 40 год.
Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)		Самостійна робота
		64 год.
		Вид підсумкового контролю: екзамен

*- аудиторне навантаження планувати в обсязі 25% від загальної кіл-ті годин (при 3 кредитах – 24 години; при 4 кредитах – 32 години)

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Розвиток сучасного машинобудування на сьогодні практично неможливий без широкого застосування інформаційних технологій та комп'ютерів. Однією з важливих задач, які доводиться вирішувати дослідникам, є заміна фізичних випробувань дослідних зразків нової техніки віртуальним обчислювальним експериментом. Це дозволяє, з одного боку, значно зменшити витрати часу та ресурсів на проектування, а з іншого, підвищити його якість. Одним з найбільш поширених на практиці підходів до чисельного аналізу широких класів задач є застосування методу скінченних елементів. Його застосування вимагає наявності спеціалізованого програмного забезпечення.

Курс має на меті забезпечити аспірантів необхідним теоретичним та практичним інструментарієм для проведення прикладних досліджень із застосуванням програмного забезпечення з відкритим початковим кодом, яке

вони можуть застосовувати в майбутньому для підвищення ефективності виконання науково-дослідних задач у своїй професійній діяльності..

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких програмних **компетентностей** і **програмних результатів навчання**:

Програмні компетентності	
ЗК1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу нових та комплексних ідей
ЗК2	Здатність вчитися, оволодівати сучасними знаннями, застосовувати їх у практичних ситуаціях
ЗК3	Здатність до формування системного наукового світогляду та загального культурного кругозору
ЗК6	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу наукової інформації з різних джерел; використання інформаційно-комунікаційних технологій у дослідницькій та викладацькій діяльності
ЗК8	Здатність до започаткування, планування та проведення наукових досліджень на відповідному рівні, із забезпеченням якості виконуваних робіт, дотримання правил безпеки та бережливого ставлення до навколишнього середовища
ЗК11	Здатність працювати у науковому колективі та організувати його діяльність; виявляти та вирішувати проблеми, приймати обґрунтовані рішення, діяти свідомо та відповідально, демонструвати ініціативу та наполегливість щодо поставлених завдань і взятих зобов'язань
ЗК14	Здатність працювати автономно; планувати та управляти своїм часом
ЗК15	Здатність до особистісного та професійного розвитку
Програмні результати навчання	
ПРН 11	Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її систематизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності
ПРН 16	Виявляти та вирішувати проблеми, самостійно приймати обґрунтовані рішення, забезпечувати їх виконання; здійснювати планування та управління своїм часом; демонструвати ініціативність, лідерство та автономність у професійній та науковій діяльності
ПРН 19	Володіти методологією, методами та термінологічним апаратом наукового дослідження у галузі інформаційних технологій
ПРН 21	Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерній науці та дотичних міждисциплінарних напрямках
ПРН 22	Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого

	обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи
ПРН 23	Застосовувати сучасні мови програмування та бібліотеки для створення програмного забезпечення, що працює в високопродуктивних паралельних обчислювальних системах
ПРН 24	Вміти візуалізувати результати комп'ютерних експериментів із застосуванням графічного стандарту OpenGL.
ПРН 25	Самостійно проводити віртуальні експерименти та застосовувати дослідницькі навички
ПРН 26	Здійснювати вдосконалення методів розв'язання науково-прикладної задачі, критичне оцінювання отриманих результатів
ПРН 11	Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її систематизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності
ПРН 16	Виявляти та вирішувати проблеми, самостійно приймати обґрунтовані рішення, забезпечувати їх виконання; здійснювати планування та управління своїм часом; демонструвати ініціативність, лідерство та автономність у професійній та науковій діяльності
ПРН 19	Володіти методологією, методами та термінологічним апаратом наукового дослідження у галузі інформаційних технологій
ПРН 11	Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її систематизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Створення дискретних геометричних моделей

Тема 1. Основні методи дискретизації геометричних областей. Поняття триангуляції. Триангуляція Делоне. Метод Ватсона-Лавсона. Метод Раперта. Метод Шевчука.

Тема 2. Програмний засіб Netgen. Інсталяція Netgen. Мова CSG. Основні геометричні примітиви. Побудова тривимірних дискретних моделей. Формати файлів.

Тема 3. Програмний засіб Gmsh. Інсталяція Gmsh. Gmsh script file. Основні геометричні примітиви. Побудова дво- та тривимірних дискретних моделей. Формати файлів.

Тема 4. Програмний засіб Tetgen. Інсталяція Tetgen. Опис геометричних моделей. Побудова скінченно-елементних сіток. Формати файлів.

Змістовий модуль 2. Застосування методу скінченних елементів при

проведенні віртуальних експериментів

Тема 5. Основи методу скінченних елементів. Основні поняття. Дискретизація конструкції. Побудова локальних матриць жорсткості скінченних елементів. Формування глобальної матриці жорсткості. Формування та розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Врахування граничних умов. Синтез стандартних результатів елементу. Виведення основних співвідношень методу скінченних елементів безпосередньо з варіаційних принципів.

Тема 6. Програмний засіб QFEM. Інсталяція QFEM. Застосування QFEM для розв'язання одно-, двох- та тривимірних задач в статиці та динаміці. Аналіз результатів в QFEM.

Тема 7. Програмний засіб PyFEM. Інсталяція PyFEM. Застосування PyFEM для розв'язання статичних та динамічних одно-, двох- та тривимірних задач. Аналіз отриманих результатів.

Тема 6. Візуалізація результатів чисельних розрахунків. Основні алгоритми візуалізації чисельних результатів. Програмна реалізація постпроцесору.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	с.р.	інд		л	п	лаб	с.р.	інд
Розділ 1. Створення дискретних геометричних моделей												
Тема 1. Основні методи дискретизації геометричних областей	18	2	0	0	17	0						
Тема 2. Програмний засіб Netgen	19	2	0	0	17	0						
Тема 3. Програмний засіб Gmsh	19	2	0	0	17	0						
Тема 4. Програмний засіб Tetgen	19	2	0	0	16	0						
Разом за розділом 1	75	8	0	0	67	0						
Розділ 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів												
Тема 5. Основи методу скінченних елементів	19	2	0	0	17	0						
Тема 6. Програмний засіб QFEM	19	2	0	0	17	0						

Тема 7. Програмний засіб PyFEM	19	2	0	0	17	0						
Тема 8. Візуалізація результатів чисельних розрахунків	18	2	0	0	16	0						
Разом за розділом 2	75	8	0	0	67	0						
Усього годин	150	16	0	0	134	0						

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Створення дискретних геометричних моделей		
1	Основні методи дискретизації геометричних областей	2
2	Програмний засіб Netgen	2
3	Програмний засіб Gmsh	2
4	Програмний засіб Tetgen	2
Разом за змістовим модулем 1		8
Змістовий модуль 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів		
5	Основи методу скінченних елементів	2
6	Програмний засіб QFEM	2
7	Програмний засіб PyFEM	2
8	Візуалізація результатів чисельних розрахунків	2
Разом за змістовим модулем 2		8
Усього годин		16

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Створення дискретних геометричних моделей		
1	Основні методи дискретизації геометричних областей	17
2	Програмний засіб Netgen	17
3	Програмний засіб Gmsh	17
4	Програмний засіб Tetgen	16

Разом за змістовим модулем 1		67
Змістовий модуль 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів		
5	Основи методу скінченних елементів	17
6	Програмний засіб QFEM	17
7	Програмний засіб PyFEM	17
8	Візуалізація результатів чисельних розрахунків	16
Разом за змістовим модулем 2		67
Усього годин		134

7. ВИДИ КОНТРОЛЮ І СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ БАЛІВ

№ змістового модуля	Вид контролю	Кіл-ть балів
ПОТОЧНИЙ		
1	Тест	40
2	Тест	40
Разом		80
ПІДСУМКОВИЙ		
1-2	Екзамен	40
Усього		100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

<i>За шкалою ECTS</i>	<i>За шкалою університету</i>	<i>За національною шкалою</i>
A	90 – 100 (відмінно)	55 (відмінно)
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)
C	75 – 84 (добре)	
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)

E	60 – 69 (достатньо)	
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)
F	1 – 34 (незадовільно – з обов’язковим повторним курсом)	

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Основна

1. Allaire G. Numerical Analysis and Optimization: An Introduction to Mathematical Modelling and Numerical Simulation. OUP Oxford, 2007. 455 p.
2. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Sixth edition. Butterworth-Heinemann, 2016. 753 p.
3. Muftu S. Finite Element Method: Physics and Solution Methods. Academic Press, 2022. 542 p.
4. Lyu Y. Finite Element Method: Element Solutions. Springer, 2022. 210 p.
5. Гоменюк С. І., Чопоров С. В., Аль-Атамнех Б. Г. М. Математичне моделювання геометричних об’єктів у паралельних комп’ютерних системах: монографія. Херсон: Видавничий дім “Гельветика”, 2018. 112 с.

Додаткова

6. Matuszek D. Quick Python 3. CRC Press, 2023. 127 p.