

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено
Вченою радою
Запорізького національного університету
протокол № 2 від 09 2022 р.
Голова Вченої ради, ректор



[Signature] М. О. Фролов

ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

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

Укладач:

Гоменюк С. І., декан математичного факультету, 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>12 Інформаційні технології</u>	Вибіркова
		Цикл професійної підготовки
Змістових модулів – 6	Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 120		2-й
Освітньо-наукова програма <u>«Комп'ютерні науки»</u>		Лекції 32 год.
		Практичні
Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)		Самостійна робота
		88 год.
		Вид підсумкового контролю: залік

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Створення сучасної техніки на сьогодні практично неможливе без широкого застосування інформаційних технологій та обчислювальних систем. Однією з найважливіших задач, які наразі постають перед інженерами, є заміна натурних випробувань дослідних зразків проєктованих машин та механізмів віртуальним комп'ютерним експериментом. Це дозволяє, з одного боку, значно зменшити витрати часу та ресурсів на проєктування, 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 використання вимагає наявності спеціалізованого програмного забезпечення.

Курс має на меті забезпечити аспірантів необхідним теоретичним та практичним інструментарієм щодо проведення віртуальних фізичних експериментів 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	
<i>для здобувачів 2021 року вступу за ОНП 2020-2021 р.</i>	
ЗК1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу нових та комплексних ідей
ЗК2	Здатність вчитися, оволодівати сучасними знаннями, застосовувати їх у практичних ситуаціях
ЗК6	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу наукової інформації з різних джерел; використання інформаційно-комунікаційних технологій у дослідницькій та викладацькій діяльності
СК 2	Здатність до засвоєння основних концепцій, розуміння теоретичних і практичних проблем, історії розвитку та сучасного стану наукових знань за спеціальністю комп'ютерні науки, оволодіння термінологією з досліджуваного наукового напрямку
СК 4	Здатність розробляти нові та вдосконалювати існуючі моделі та методи комп'ютерного моделювання природних та інженерно-технічних систем та процесів, а також критично оцінювати отримані результати
СК 6	Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення у науковій, професійній та освітній діяльності.
СК 7	Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науковоприкладні задачі та/або проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
СК 8	Здатність розробляти програмне забезпечення для паралельних систем
СК 9	Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у галузі комп'ютерних наук, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів наукової діяльності в комп'ютерних науках
СК 10	Здатність до створення програмного забезпечення для візуалізації результатів комп'ютерних експериментів
<i>для здобувачів 2022 року вступу за ОНП 2022 р.</i>	
ЗК 1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
ЗК 2	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
ЗК 10	Здатність розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності
СК2	Здатність здійснювати планування та виконання оригінальних досліджень, досягати наукових результатів, які створюють нові знання як в предметній області, так і в міждисциплінарних напрямках, і можуть бути опубліковані у провідних вітчизняних та міжнародних наукових виданнях з галузі інформаційних технологій та суміжних галузей
СК4	Здатність використовувати сучасні методології, методи та інструменти емпіричних і теоретичних досліджень у галузі, методи комп'ютерного моделювання, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та науково-педагогічній діяльності.
СК8	Здатність розробляти нові та вдосконалювати існуючі моделі та методи комп'ютерного моделювання природних та інженерно-технічних систем та процесів, а також критично оцінювати отримані результати.
Програмні результати навчання	
<i>для здобувачів 2021 року вступу за ОНП 2020-2021 р.</i>	
ПРН 11	Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її система-

	тизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності
ПРН 7	Оволодівати сучасними знаннями та застосовувати їх у практичній діяльності; здійснювати абстрактний аналіз, оцінку і синтез нових та комплексних ідей; демонструвати відданість їх розвитку у передових контекстах професійної та наукової діяльності
ПРН 18	Знати основні концепції, історію розвитку та сучасний стан наукових знань за спеціальністю комп'ютерні науки
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 26	Здійснювати розробку та вдосконалення методів розв'язання науково-прикладної задачі, критичне оцінювання отриманих результатів
<i>для здобувачів 2022 року вступу за ОНП 2022 р.</i>	
ПРН2	Глибоко розуміти загальні принципи, методи, методології наукових досліджень, застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері комп'ютерних наук та у викладацькій практиці
ПРН3	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
ПРН5	Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження за напрямом спеціальності та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів; оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень; комерціалізувати їх результати; здійснювати захист прав інтелектуальної власності
ПРН 11	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'ютерних науках та дотичних міждисциплінарних напрямках.
ПРН 13	Здійснювати розробку та вдосконалення методів розв'язання науково-прикладної задачі.

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 Рапєрта. 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 елемента. Виведення основних співвідношень методу скінченних елементів безпосередньо з варіаційних принципів.

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

Тема 7. Програмний засіб RuFEM. Інсталяція RuFEM. Застосування RuFEM для розв'язання статичних та динамічних одно-, дво- 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				
	усього	у тому числі			
л		п	лаб	с.р.	інд
Розділ 1. Створення дискретних геометричних моделей					
Тема 1. Основні методи дискретизації геометричних областей					
Тема 2. Програмний засіб Netgen					
Тема 3. Програмний засіб Gmsh					

Тема 4. Програмний засіб Tetgen						
Разом за розділом 1						
Розділ 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів						
Тема 5. Основи методу скінченних елементів						
Тема 6. Програмний засіб QFEM						
Тема 7. Програмний засіб PyFEM						
Тема 8. Візуалізація результатів чисельних розрахунків						
Разом за розділом 2						
Усього годин						

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Створення дискретних геометричних моделей		
1	Основні методи дискретизації геометричних областей	4
2	Програмний засіб Netgen	4
3	Програмний засіб Gmsh	4
4	Програмний засіб Tetgen	4
Разом за змістовим модулем 1		16
Змістовий модуль 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів		
5	Основи методу скінченних елементів	4
6	Програмний засіб QFEM	4
7	Програмний засіб PyFEM	4
8	Візуалізація результатів чисельних розрахунків	4
Разом за змістовим модулем 2		16
Усього годин		32

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Створення дискретних геометричних моделей		
1	Основні методи дискретизації геометричних областей	11
2	Програмний засіб Netgen	11
3	Програмний засіб Gmsh	11

4	Програмний засіб Tetgen	11
Разом за змістовим модулем 1		44
Змістовий модуль 2. Застосування методу скінченних елементів при проведенні віртуальних експериментів		
5	Основи методу скінченних елементів	11
6	Програмний засіб QFEM	11
7	Програмний засіб PyFEM	11
8	Візуалізація результатів чисельних розрахунків	11
Разом за змістовим модулем 2		44
Усього годин		88

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	Залік	20
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)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	
C	75 – 84 (добре)	
D	70 – 74 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)	
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	Не зараховано

F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)	
---	---	--

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Основна

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