

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено
Вченою радою
Запорізького національного університету
протокол № 2 від 14.12 2022 р.
Голова Вченої ради, ректор
 М. О. Фролов



САПР ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

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

Укладач:

Гребенюк С. М., завідувач кафедри фундаментальної та прикладної математики, 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 12 Інформаційні технології	вибіркова
		Цикл професійної підготовки
Змістових модулів – 6	Спеціальність 122 Комп'ютерні науки	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 120		2-й
Освітньо-наукова програма Комп'ютерні науки		Лекції 32 год.
		Практичні 0 год.
Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)		Самостійна робота 88 год.
		Вид підсумкового контролю: залік

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни «САПР технічних систем» є ознайомлення аспірантів з теоретичними основами та етапами створення систем автоматизованого проектування технічних систем на базі методу скінченних елементів, що надає можливості застосування набутих знань у якості інструменту для розв'язання конкретних прикладних задач.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «САПР технічних систем» є формування у аспірантів цілісної системи знань та навичок щодо теорії та практики побудови САПР із застосуванням сучасного програмного забезпечення для застосування у задачах проектування деталей, механізмів та пристроїв.

Вивчення аспірантами дисципліни «САПР технічних систем» ґрунтується на ознайомленні їх з обов'язковими дисциплінами «Технології машинного навчання в обробці даних» та «Обчислювальний експеримент у комп'ютерних науках».

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>	
ЗК 1	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу нових та комплексних ідей.
ЗК 2	Здатність вчитися, оволодівати сучасними знаннями, застосовувати їх у практичних ситуаціях.
ЗК 3	Здатність до формування системного наукового світогляду та загального культурного кругозору.
ЗК 4	Здатність до критичного мислення.
ЗК 6	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу наукової інформації з різних джерел; використання інформаційно-комунікаційних технологій у дослідницькій та викладацькій діяльності.
СК4	Здатність вдосконалювати існуючі методи та підходи до математичного та комп'ютерного моделювання природних та технічних систем та процесів.
СК6	Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.
СК7	Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
СК9	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.
<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 1	Демонструвати системний науковий світогляд та загальний культурний кругозір; володіти техніками і технологіями критичного мислення
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 11	Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її систематизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності
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 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. Сучасні САПР технічних систем

Тема 1. Основні види САПР технічних систем. Класифікація сучасних САПР. Основні види САПР технічних систем: області їх застосування, недоліки та переваги. Основні тенденції в створенні та модернізації сучасних САПР.

Тема 2. САПР на основі методу скінченних елементів. Сучасні САПР на основі методу скінченних елементів, області їх застосування. Типи скінченних елементів, реалізовані у САПР.

Змістовий модуль 2. Етапи створення САПР

Тема 3. Побудова структури САПР. Загальні вимоги до сучасних САПР, принципи побудови структури сучасних САПР. Структура найбільш поширених САПР.

Тема 4. Програмні засоби реалізації САПР. Загальні вимоги до засобів програмної реалізації сучасних САПР. Переваги та недоліки засобів програмної реалізації САПР.

Змістовий модуль 3. Побудова препроцесора САПР

Тема 5. Основні типи вхідних даних. Типи даних, що задаються для автоматичного проектування. Засоби та формат вводу даних у САПР. Верифікація вихідних даних. Візуальне представлення інформації про об'єкт проектування.

Тема 6. Побудова геометричних моделей об'єкту. Основні методи опису геометричних характеристик двовимірних та тривимірних об'єктів. Геометрична модель об'єкта на основі R-функцій. Параметричний опис геометричних характеристик об'єкта.

Тема 7. Методи дискретизації двовимірних об'єктів. Постановка задачі дискретизації двовимірних об'єктів. Методи дискретизації двовимірних областей: триангуляція Делоне, алгоритм Раперта.

Тема 8. Методи дискретизації тривимірних об'єктів. Постановка задачі дискретизації тривимірних об'єктів. Методи дискретизації тривимірних областей.

Змістовий модуль 4. Побудова процесора САПР

Тема 9. Основні типи скінченних елементів. Основні співвідношення теорії в'язкопружності трансропного матеріалу для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне лінійне деформування ізотропної в'язкопружної матриці та пружного трансропного волокна.

Тема 10. Матриця жорсткості скінченного елемента та її програмна реалізація. Постановка задачі в'язкопружності для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективні лінійні в'язкопружні характеристики для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Тема 11. Глобальна матриця жорсткості об'єкта та її програмна реалізація. Представницький об'ємний елемент для волокнистого композиційного елемента. Основні співвідношення теорії в'язкопружності для трансропного матеріалу при зсувних деформаціях. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне зсувне деформування ізотропної в'язкопружної матриці та пружного трансропного волокна.

Тема 12. Побудова системи розв'язувальних рівнянь та процедура її розв'язання. Постановка задачі в'язкопружності для представницького об'ємного елемента при поздовжньому зсуві для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективні зсувні в'язкопружні характеристики для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Змістовий модуль 5. Побудова постпроцесора САПР

Тема 13. Способи візуального представлення великих масивів числових даних. Основні співвідношення теорії термопружності для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при температурному навантаженні. Сумісне деформування ізотропних матриці та волокна в умовах температурного навантаження.

Тема 14. Візуалізація результатів розрахунків методом скінченних елементів. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента в умовах температурного навантаження. Умови узгодження. Ефективний температурні коефіцієнти лінійного розширення для волокнистого композиту з ізотропними компонентами.

Змістовий модуль 6. Застосування САПР для проектування конструкцій

Тема 15. Застосування САПР до розрахунку конструкції. Представницький об'ємний елемент для композиційного елемента з порожнистим волокном. Основні співвідношення теорії пружності для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне деформування ізотропних матриці та порожнистого волокна.

Тема 16. Аналіз та верифікація результатів застосування САПР. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективний поздовжній модуль пружності для композиту із порожнистим

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин			
	усьо го	у тому числі		
		л.	практ.	сам. роб.
1	2	3	4	5
Змістовий модуль 1. Сучасні САПР технічних систем				
Тема 1. Основні види САПР технічних систем	7	2	-	5
Тема 2. САПР на основі методу скінченних елементів	7	2	-	5
Разом за змістовим модулем 1	14	4	-	10
Змістовий модуль 2. Етапи створення САПР				
Тема 3. Побудова структури САПР	7	2	-	5
Тема 4. Програмні засоби реалізації САПР	7	2	-	5
Разом за змістовим модулем 2	14	4	-	10
Змістовий модуль 3. Побудова препроцесора САПР				
Тема 5. Основні типи вхідних даних	9	2	-	7
Тема 6. Побудова геометричних моделей об'єкту	9	2	-	7
Тема 7. Методи дискретизації двовимірних об'єктів	7	2	-	5
Тема 8. Методи дискретизації тривимірних об'єктів	7	2	-	5
Разом за змістовим модулем 3	32	8	-	24
Змістовий модуль 4. Побудова процесора САПР				
Тема 9. Основні типи скінченних елементів	9	2	-	7
Тема 10. Матриця жорсткості скінченного елемента та її програмна реалізація	9	2	-	7
Тема 11. Глобальна матриця жорсткості об'єкта та її програмна реалізація	7	2	-	5
Тема 12. Побудова системи розв'язувальних рівнянь та процедура	7	2	-	5

її розв'язання				
Разом за змістовим модулем 4	32	8	-	24
Змістовий модуль 5. Побудова постпроцесора САПР				
Тема 13. Способи візуального представлення великих масивів числових даних	7	2	-	5
Тема 14. Візуалізація результатів розрахунків методом скінченних елементів	7	2	-	5
Разом за змістовим модулем 5	14	4	-	10
Змістовий модуль 6. Застосування САПР для проектування конструкцій				
Тема 15. Застосування САПР до розрахунку конструкції	7	2	-	5
Тема 16. Аналіз та верифікація результатів застосування САПР	7	2	-	5
Разом за змістовим модулем 6	14	4	-	10
Усього годин	120	32	-	88

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Сучасні САПР технічних систем		
1	Основні види САПР технічних систем	2
2	САПР на основі методу скінченних елементів	2
	Разом за змістовим модулем 1	4
Змістовий модуль 2. Етапи створення САПР		
3	Побудова структури САПР	2
4	Програмні засоби реалізації САПР	2
	Разом за змістовим модулем 2	4
Змістовий модуль 3. Побудова препроцесора САПР		
5	Основні типи вхідних даних	2
6	Побудова геометричних моделей об'єкту	2
7	Методи дискретизації двовимірних об'єктів	2
8	Методи дискретизації тривимірних об'єктів	2
	Разом за змістовим модулем 3	8
Змістовий модуль 4. Побудова процесора САПР		

9	Основні типи скінченних елементів	2
10	Матриця жорсткості скінченного елемента та її програмна реалізація	2
11	Глобальна матриця жорсткості об'єкта та її програмна реалізація	2
12	Побудова системи розв'язувальних рівнянь та процедура її розв'язання	2
	Разом за змістовим модулем 4	8
Змістовий модуль 5. Побудова постпроцесора САПР		
13	Способи візуального представлення великих масивів числових даних	2
14	Візуалізація результатів розрахунків методом скінченних елементів	2
	Разом за змістовим модулем 5	4
Змістовий модуль 6. Застосування САПР для проектування конструкцій		
15	Застосування САПР до розрахунку конструкції	2
16	Аналіз та верифікація результатів застосування САПР	2
	Разом за змістовим модулем 6	4
	Усього годин	32

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Сучасні САПР технічних систем		
1	Основні види САПР технічних систем	5
2	САПР на основі методу скінченних елементів	5
	Разом за змістовим модулем 1	10
Змістовий модуль 2. Етапи створення САПР		
3	Побудова структури САПР	5
4	Програмні засоби реалізації САПР	5
	Разом за змістовим модулем 2	10
Змістовий модуль 3. Побудова препроцесора САПР		
5	Основні типи вхідних даних	7
6	Побудова геометричних моделей об'єкту	7
7	Методи дискретизації двовимірних об'єктів	5

8	Методи дискретизації тривимірних об'єктів	5
	Разом за змістовим модулем 3	24
Змістовий модуль 4. Побудова процесора САПР		
9	Основні типи скінченних елементів	7
10	Матриця жорсткості скінченного елемента та її програмна реалізація	7
11	Глобальна матриця жорсткості об'єкта та її програмна реалізація	5
12	Побудова системи розв'язувальних рівнянь та процедура її розв'язання	5
	Разом за змістовим модулем 4	24
Змістовий модуль 5. Побудова постпроцесора САПР		
13	Способи візуального представлення великих масивів числових даних	5
14	Візуалізація результатів розрахунків методом скінченних елементів	5
	Разом за змістовим модулем 5	10
Змістовий модуль 6. Застосування САПР для проектування конструкцій		
15	Застосування САПР до розрахунку конструкції	5
16	Аналіз та верифікація результатів застосування САПР	5
	Разом за змістовим модулем 6	10
Усього годин		88

7. ВИДИ КОНТРОЛЮ І СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ БАЛІВ

№ змістового модуля	Вид контролю	Кіл-ть балів
ПОТОЧНИЙ		
1	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5
2	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5
3	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5

4	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5
5	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5
6	Теоретичне опитування	5
	Перевірка практичного виконання самостійної роботи	5
Разом:		60
ПІДСУМКОВИЙ		
	Індивідуальне завдання	20
	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)	5 (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)	

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

До змістового модуля 1

1. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХПІ"», 2017. 232 с.
2. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Дегтярьов О.В., Грищак В.З., Акімов Д.В., Гоменюк С.І., Гребенюк С.М., Дегтяренко П.Г., Д'яченко Н.М., Клименко Д.В., Клименко М.І., Кудін О.В., Ларіонов І.Ф., Сіренко В.М., Чопоров С.В. Математичні моделі та прогнозування руйнівних навантажень в ракетно-космічних системах. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 260 с.
4. Чопоров С.В., Кудін О.В., Панасенко Є.В., Грищак Д.Д., Ігнатченко М.С. Математичне забезпечення інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій. Херсон: Гельветика, 2020. 300 с.
5. Чопоров С.В. Математичне моделювання та аналіз форм об'єктів у САПР машинобудування. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». Запоріжжя, 2019. 352 с.
6. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
7. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaja_literatura/0-49
8. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>

До змістового модуля 2

1. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХПІ"», 2017. 232 с.
2. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Дегтярьов О.В., Грищак В.З., Акімов Д.В., Гоменюк С.І., Гребенюк С.М., Дегтяренко П.Г., Д'яченко Н.М., Клименко Д.В., Клименко М.І., Кудін О.В., Ларіонов І.Ф., Сіренко В.М., Чопоров С.В. Математичні моделі та прогнозування руйнівних навантажень в ракетно-космічних системах. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 260 с.
4. Чопоров С.В., Кудін О.В., Панасенко Є.В., Грищак Д.Д., Ігнатченко М.С. Математичне забезпечення інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій. Херсон: Гельветика, 2020. 300 с.
5. Чопоров С.В. Математичне моделювання та аналіз форм об'єктів у САПР машинобудування. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора

- технічних наук за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». Запоріжжя, 2019. 352 с.
6. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
 7. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaja_literatura/0-49
 8. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>

До змістового модуля 3

1. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХП"», 2017. 232 с.
2. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Чопоров С.В., Кудін О.В., Панасенко Є.В., Грищак Д.Д., Ігнатченко М.С. Математичне забезпечення інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій. Херсон: Гельветика, 2020. 300 с.
4. Чопоров С.В. Математичне моделювання та аналіз форм об'єктів у САПР машинобудування. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». Запоріжжя, 2019. 352 с.
5. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
6. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaja_literatura/0-49
7. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>

До змістового модуля 4

1. Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах руйнування просторових тіл. К.: КНУБА, 2005. 298 с.
2. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХП"», 2017. 232 с.

3. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
4. Grebenyuk S.M., Klymenko M.I. Finite element modeling of the stress-strain state of a composite material with a viscoelastic matrix / Mathematical and computer modelling of engineering systems: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing. 2020. Pp. 19-34.
5. Mats G. Larson, Fredrik Bengzon. The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications. Berlin: Springer Heidelberg, 2012. 385 p.
6. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Fox D.D. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Oxford: Elsevier, 2014. 657 p.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Nithiarasu P. The Finite Element Method for Fluid Dynamics Seventh Edition. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2014. 544 p.
8. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
9. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaja_literatura/0-49
10. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>

До змістового модуля 5

1. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХПІ"», 2017. 232 с.
2. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Чопоров С.В., Кудін О.В., Панасенко Є.В., Грищак Д.Д., Ігнатченко М.С. Математичне забезпечення інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій. Херсон: Гельветика, 2020. 300 с.
4. Чопоров С.В. Математичне моделювання та аналіз форм об'єктів у САПР машинобудування. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 «Системи автоматизації проектувальних робіт». Запоріжжя, 2019. 352 с.
5. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
6. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaja_literatura/0-49
7. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>

До змістового модуля 6

1. Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С. Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах руйнування просторових тіл. К.: КНУБА, 2005. 298 с.
2. Бреславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення. Харків: Вид-во «Підручник НТУ "ХП"», 2017. 232 с.
3. Гребенюк С. М., Гоменюк С. І., Клименко М. І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
4. Чопоров С.В., Кудін О.В., Панасенко Є.В., Грищак Д.Д., Ігнатченко М.С. Математичне забезпечення інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій. Херсон: Гельветика, 2020. 300 с.
5. Grebenyuk S.M., Klymenko M.I. Finite element modeling of the stress-strain state of a composite material with a viscoelastic matrix / Mathematical and computer modelling of engineering systems: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing. 2020. Pp. 19-34.
6. Mats G. Larson, Fredrik Bengzon. The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications. Berlin: Springer Heidelberg, 2012. 385 p.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Fox D.D. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Oxford: Elsevier, 2014. 657 p.
8. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Nithiarasu P. The Finite Element Method for Fluid Dynamics Seventh Edition. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2014. 544 p.
9. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13022>
10. Сайт кафедри фундаментальної та прикладної математики. URL: http://kma-znu.ucoz.ru/index/uchebnaia_literatura/0-49
11. Бібліотека сайту EqWorld. URL: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/calculus.htm>