

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено

Вченою радою математичного факультету

назва фак.-ту

протокол № 3 від 20 вересня 2024 р.

Голова Вченої ради, декан



С. І. Гоменюк

підпис

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

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

зі спеціальності 113 Прикладна математика
освітньо-наукова програма Прикладна математика

Укладач:

Клименко М. І., доцент кафедри фундаментальної та прикладної математики, кандидат
фізико-математичних наук, доцент

Погоджено:

Гарант освітньо-наукової програми

підпис

С. М. Гребенюк

Запоріжжя 2024

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 11 Математика та статистика	нормативна
		Цикл професійної підготовки
Змістових модулів – 6	Спеціальність 113 Прикладна математика	Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 120		2-й
		Лекції 30 год.
Освітньо-наукова програма Прикладна математика		Самостійна робота 90 год.
Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)		Вид підсумкового контролю: залік

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни «Спеціальні розділи математичного моделювання» є ознайомлення аспірантів з ефективними засобами математичного моделювання механічних об'єктів та процесів – варіаційним підходом та методом інтегральних перетворень.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Спеціальні розділи математичного моделювання» є формування у аспірантів знань та вмінь щодо застосування варіаційного підходу та методу інтегральних перетворень для моделювання об'єктів та процесів у механіці суцільного середовища.

Вивчення аспірантами дисципліни «Спеціальні розділи математичного моделювання» ґрунтується на оволодінні ними бакалаврською освітньо-професійною програмою «Прикладна математика», а також ознайомленні їх з дисциплінами «Математичне моделювання складних систем» та «Чисельні методи розв'язання механічних задач».

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
ЗК2	Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
ЗК3	Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми
ЗК5	Здатність до критичного мислення
СК1	Здатність до розуміння основних концепцій, історичних витоків, сучасного стану та тенденції розвитку прикладної математики; оволодіння термінологією з досліджуваного наукового напрямку
СК3	Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру; оцінювати та забезпечувати якість виконуваних

	досліджень; комерціалізувати їх результати; здійснювати захист прав інтелектуальної власності
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 математичного та комп'ютерного моделювання природних та інженерно-технічних систем та процесів, а також критично оцінювати отримані результати
Програмні результати навчання	
ПРН1	Мати передові концептуальні та методологічні знання з предметної області та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій
ПРН2	Глибоко розуміти загальні принципи, методи, методології наукових досліджень, застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері прикладної математики та у викладацькій практиці
ПРН4	Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, спостережень, математичного та комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані з метою розв'язання значущих наукових та науково-прикладних проблем
ПРН8	Демонструвати системний науковий світогляд та загальний культурний кругозір; володіти техніками і технологіями критичного мислення; дотримуватися принципів академічної доброчесності та професійної етики; забезпечувати безперервний саморозвиток та самовдосконалення протягом життя
ПРН11	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 сфері прикладної математики та дотичних міждисциплінарних напрямках

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Застосування інтегральних перетворень Фур'є та Лапласа у математичному моделюванні

Тема 1. Застосування інтегрального перетворення Фур'є у математичному моделюванні задач механіки. Інтегральне перетворення Фур'є та його властивості. Обернене перетворення Фур'є. Наближені методи знаходження оберненого перетворення Фур'є. Задача про коливання нескінченної мембрани. Плоска задача теорії пружності для нескінченної смуги. Застосування інтегрального перетворення Фур'є у задачах згину тонких плит. Дослідження осесиметричних напружень у циліндрі.

Тема 2. Операційний метод моделювання динамічних процесів. Сутність операційного методу дослідження математичних моделей. Застосування перетворення Лапласа до розв'язання інтегральних та інтегро-диференціальних рівнянь. Дискретне перетворення Лапласа та його застосування. Наближені методи обернення перетворення Лапласа. Застосування перетворення Лапласа для дослідження коливань мембрани. Застосування операційного методу у задачах про коливання оболонок. Використання перетворення Лапласа при розв'язанні задач в'язкопружності.

Змістовий модуль 2. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя

Тема 3. Застосування інтегрального перетворення Фур'є-Бесселя при дослідженні математичних моделей механіки. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя та його властивості. Обернення перетворення Фур'є-Бесселя. Наближені методи обернення перетворення Фур'є-Бесселя. Використання перетворення Фур'є-Бесселя для розв'язання крайових задач для рівнянь Лапласа та Гельмгольца. Дослідження вісесиметричних поперечних коливань нескінченної мембрани. Розв'язання задачі Бусінеска для півпростору. Задача про деформування пружного шару.

Змістовий модуль 3. Застосування варіаційних методів у математичному моделюванні

Тема 4. Сутність варіаційних методів. Задачі про екстремум функціоналів. Необхідні умови екстремуму функціоналів. Достатні умови екстремуму функціоналів. Принцип Гамільтона–Остроградського. Принцип Лагранжа. Застосування варіаційного принципу Лагранжа. Принцип найменшої дії у формі Якобі. Застосування варіаційних принципів для отримання рівнянь коливань. Функціонал енергії деформованого тіла. Варіаційний принцип Рейснера. Варіаційний принцип Кастильяно. Функціонал Ху-Вашіцу. Зв'язок між диференціальним та варіаційним формулюваннями задач теорії пружності. Варіаційні принципи термодинаміки.

Тема 5. Прямі методи варіаційного числення. Мінімізуючі послідовності. Метод Рітца. Метод Канторовича. Метод Куранта. Задача про власні значення симетричного оператора. Розв'язання плоскої задачі теорії пружності методом Рітца.

Змістовий модуль 4. Дослідження систем з зосередженими параметрами

Тема 6. Моделювання систем з зосередженими параметрами. Приклади фізичних систем з зосередженими параметрами. Застосування функції Діріка. Зосереджені параметри у структурі рівняння, що є математичною моделлю системи з зосередженими параметрами. Зосереджений параметр у крайових умовах.

Змістовий модуль 5. Застосування методів потенціалу у математичному моделюванні фізичних процесів

Тема 7. Методи потенціалу у моделюванні фізичних процесів. Елементи теорії потенціалу. Потенціал об'ємних мас. Логарифмічні потенціали. Потенціали простого та подвійного шару. Застосування методу потенціалу для розв'язання задачі Діріхле. Застосування методу потенціалу для дослідження процесів розповсюдження тепла. Застосування методів потенціалу для дослідження рівняння Гельмгольца. Нестационарні потенціали.

Змістовий модуль 6. Інтегральні рівняння у моделюванні фізичних явищ

Тема 8. Застосування інтегральних рівнянь для моделювання фізичних процесів. Основні означення та приклади. Рівняння Вольтерра. Інтегральні рівняння з симетричними ядрами. Метод поверхневих потенціалів та інтегральні рівняння. Метод папартриксу.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		л.	практ.	сам. роб.
1	2	3	4	5
Змістовий модуль 1. Застосування інтегральних перетворень Фур'є та Лапласа у математичному моделюванні				
Тема 1. Застосування інтегрального перетворення Фур'є у математичному моделюванні задач механіки	9	4		5
Тема 2. Операційний метод моделювання динамічних процесів.	12	4		8
Разом за змістовим модулем 1	21	8		13
Змістовий модуль 2. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя				
Тема 3. Застосування інтегрального перетворення Фур'є-Бесселя при дослідженні математичних моделей механіки	19	4		15
Разом за змістовим модулем 2	19	4		15
Змістовий модуль 3. Застосування варіаційних методів у математичному моделюванні				
Тема 4. Сутність варіаційних методів	11	4		8
Тема 5. Прямі методи варіаційного числення	10	2		7
Разом за змістовим модулем 3	21	6		15
Змістовий модуль 4. Дослідження систем з зосередженими параметрами				
Тема 6. Моделювання систем з зосередженими параметрами.	19	4		15
Разом за змістовим модулем 4	19	4		15
Змістовий модуль 5. Застосування методів потенціалу у математичному моделюванні фізичних процесів				
Тема 7. Методи потенціалу у моделюванні фізичних процесів	19	4		15
Разом за змістовим модулем 5	19	4		15
Змістовий модуль 6. Інтегральні рівняння у моделюванні фізичних процесів				
Тема 8. Застосування інтегральних рівнянь для моделювання фізичних процесів	21	4		17
Разом за змістовим модулем 6	21	4		17
Усього годин	120	30		90

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Застосування інтегральних перетворень Фур'є та Лапласа у математичному моделюванні		
1	Застосування інтегрального перетворення Фур'є у математичному моделюванні задач механіки	2
1	Розв'язання задач теорії пружності з допомогою інтегрального перетворення Фур'є	2
2	Операційний метод моделювання динамічних процесів	2

2	Застосування перетворення Лапласа у задачах механіки	2
	Разом за змістовим модулем 1	8
Змістовий модуль 2. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя		
3	Застосування інтегрального перетворення Фур'є-Бесселя при дослідженні математичних моделей механіки	2
3	Задача про деформування пружного шару	2
	Разом за змістовим модулем 2	4
Змістовий модуль 3. Застосування варіаційних методів у математичному моделюванні		
4	Сутність варіаційних методів	2
4	Необхідні та достатні умови екстремуму функціоналів	2
5	Прямі методи варіаційного числення	2
	Разом за змістовим модулем 3	6
Змістовий модуль 4. Дослідження систем з зосередженими параметрами		
6	Моделювання систем з зосередженими параметрами.	2
6	Застосування функції Діріка у моделюванні системи з зосередженому параметрах.	2
	Разом за змістовим модулем 4	4
Змістовий модуль 5. Застосування методів потенціалу у математичному моделюванні фізичних процесів		
7	Елементи теорії потенціалу	2
7	Застосування потенціалу для розв'язання задачі Діріхле	2
	Разом за змістовим модулем 5	4
Змістовий модуль 6. Інтегральні рівняння у моделюванні фізичних процесів		
8	Застосування інтегральних рівнянь для моделювання фізичних процесів	2
8	Приклади застосування інтегральних рівнянь у моделюванні фізичних процесів	2
	Разом за змістовим модулем 6	4
Усього годин		30

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ теми	Назва теми	Кіл-ть годин
Змістовий модуль 1. Застосування інтегральних перетворень Фур'є та Лапласа у математичному моделюванні		
1	Наближені методи знаходження оберненого перетворення Фур'є	2
1	Задача про коливання нескінченної мембрани	3
2	Наближені методи обернення перетворення Лапласа.	2
2	Дискретне перетворення Лапласа та його застосування	3
2	Застосування перетворення Лапласа для дослідження коливань мембрани	3
	Разом за змістовим модулем 1	13
Змістовий модуль 2. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя		
3	Наближені методи обернення перетворення Фур'є-Бесселя.	6
3	Використання перетворення Фур'є-Бесселя для розв'язання крайових задач для рівняння Гельмгольца	4
3	Задача про деформування пружного шару.	5
	Разом за змістовим модулем 2	15

Змістовий модуль 3. Застосування варіаційних методів у математичному моделюванні		
4	Розривні задачі та односторонні екстремуми.	4
4	Варіаційні задачі [A1] у параметричній формі.	4
5	Збіжність методу Рітца	4
5	Узагальнення методу Рітца для функціоналів, визначених на функціях кількох змінних	3
	Разом за змістовим модулем 3	15
Змістовий модуль 4. Дослідження систем з зосередженими параметрами		
6	Зосереджений параметр, входить у правій частині рівняння, що є моделювання	3
6	Зосереджений параметр входить у коефіцієнти рівнянь	5
6	Зосереджений параметр входить у крайові умови	3
6	Приклади механічних систем з зосередженими параметрами	4
	Разом за змістовим модулем 4	15
Змістовий модуль 5. Застосування методів потенціалу у математичному моделюванні фізичних процесів		
7	Потенціали подвійного шару	3
7	Похідні потенціалу подвійного шару	4
7	Полігармонічне рівняння	4
7	Застосування методів теорії потенціалу до розв'язання крайових задач теорії пружності	4
	Разом за змістовим модулем 5	15
Змістовий модуль 6. Інтегральні рівняння у моделюванні фізичних процесів		
8	Інтегральні рівняння Фредгольма	7
8	Інтегральні рівняння у механіці суцільного середовища	5
8	Наближені методи розв'язання інтегральних рівнянь	5
	Разом за змістовим модулем 6	17
Усього годин		90

7. ВИДИ КОНТРОЛЮ І СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ БАЛІВ

№ змістового модуля	Вид контролю	Кіл-ть балів
ПОТОЧНИЙ		
1	<i>Контрольна робота № 1. Застосування інтегрального перетворення Фур'є та Лапласа у математичному моделюванні</i>	10
2	<i>Контрольна робота № 2. Інтегральне перетворення Фур'є-Бесселя</i>	10
3	<i>Контрольна робота № 3. Методи варіаційного числення у математичному моделюванні</i>	10
4	<i>Контрольна робота № 4. Дослідження систем з зосередженими параметрами</i>	10
5	<i>Контрольна робота № 5. Застосування методів потенціалу при моделюванні фізичних процесів</i>	10
6	<i>Контрольна робота № 6. Використання інтегральних рівнянь у моделюванні фізичних процесів</i>	10
	<i>Разом:</i>	60

ПІДСУМКОВИЙ		
<i>Залік, у тому числі</i>		40
	Індивідуальне завдання	30
	Залікове тестування	10
Усього		100

8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

№№	Контрольні заходи	Критерії оцінювання
ПОТОЧНИЙ		
1	Контрольна робота №1	Максимальна кількість балів – 10. Контрольна робота містить 3 теоретичні питання та 2 практичні завдання. Розгорнута відповідь на кожне питання та та виконання кожного завдання оцінюється у 2 бали.
2	Контрольна робота № 2	Максимальна кількість балів – 10. Контрольна робота містить 3 теоретичні питання та 2 практичні завдання. Розгорнута відповідь на кожне питання та та виконання кожного завдання оцінюється у 2 бали.
3	Контрольна робота № 3	Максимальна кількість балів – 10. Робота складається з 2 теоретичних питань та 3 практичних завдань, розгорнута відповідь на кожне питання та виконання кожного завдання максимально оцінюється у 2 балів.
4	Контрольна робота № 4	Максимальна кількість балів – 10. Робота складається з 2 практичних завдань, виконання та захист кожного з них максимально оцінюється у 5 балів.
5	Контрольна робота № 5	Максимальна кількість балів – 10. Робота складається з 2 теоретичних питань та 3 практичних завдань, розгорнута відповідь на кожне питання та виконання кожного завдання максимально оцінюється у 2 балів.
6	Контрольна робота № 6	Максимальна кількість балів – 10. Робота складається з 2 практичних завдань, виконання та захист кожного з них максимально оцінюється у 5 балів.
ПІДСУМКОВИЙ		
5	Залікове тестування	Максимальна кількість балів – 10. Тест складається з 10 питань. Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал.
6	Індивідуальне завдання	Максимальна кількість балів – 30. Завдання складається з 6 практичних завдань, кожне з яких за матеріалом одного з змістових модулів курсу. Виконання та захист кожного з завдань оцінюється у 5 балів.

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)	

Оцінка 5 (відмінно) (90 – 100 балів) виставляється, якщо здобувач у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано викладає його під час усних виступів та надання письмових відповідей; демонструє високий рівень застосування отриманих умінь і навичок, а також оригінальний підхід під час виконання практичних завдань.

Оцінка 4 (добре) (75 – 89 балів) виставляється, якщо здобувач достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та надання письмових відповідей; в основному розкриває зміст теоретичних питань, використовуючи при цьому обов’язкову літературу; демонструє високий рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань. Проте, при викладенні деяких теоретичних питань та вирішення практичних завдань може припускатися окремих несуттєвих неточностей та незначних помилок.

Оцінка 3 (задовільно) (60 – 74 бали) виставляється, якщо здобувач в цілому володіє навчальним матеріалом, демонструє середній рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань, припускаючись при цьому суттєвих неточностей та окремих помилок.

Оцінка 2 (незадовільно з можливістю повторного складання) (35 – 59 балів) виставляється, якщо здобувач слабо володіє навчальним матеріалом. Демонструє низький рівень застосування отриманих умінь і навичок під час виконання практичних завдань, припускаючись суттєвих помилок та неточностей.

Оцінка 1 (незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни) (0 – 34 бали) виставляється, якщо здобувач майже не володіє навчальним матеріалом, не вміє застосовувати отримані уміння й навички під час виконання практичних завдань.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА

До змістового модуля 1

1. Гребенюк С. М., Тітова О. О., Клименко М. І., Полюга С. І., Стреляев Ю. М. Операційне числення. Навчальний посібник для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» напрямку підготовки «Математика». Запоріжжя : ЗНУ. 2015. 94 с.
2. Перестюк М. О., Маринець В. В. Теорія рівнянь математичної фізики. Київ : Либідь, 2006. 424 с.
3. Бобик О. І., Бобик І. В., Литвин В. В. Рівняння математичної фізики. Львів : Новий світ, 2020. 256 с.

4. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчук А. А. Методи математичної фізики. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 404 с.
5. Клименко М. І., Гребенюк С. М., Гоменюк С. І. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. Монографія. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2019. 300 с.
6. Kilbas A. A. Transforms Theory and Applications. Boca Raton : FL Charman and Hall. CRS. 2014. 390 p.

До змістового модуля 2

1. Бобик О. І., Бобик І. В., Литвин В. В. Рівняння математичної фізики. Львів : Новий світ, 2020. 256 с.
2. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчук А. А. Методи математичної фізики. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 404 с.
3. Курпа Л. В., Линник Г. Б. Рівняння математичної фізики. Харків : ХПІ, 2011. 312 с.
4. Kilbas A. A. Transforms Theory and Applications. Boca Raton : FL Charman and Hall. CRS. 2014. 390 p.

До змістового модуля 3

1. Перестюк М. О., Станжицький О. М., Капустян О. В., Ловейкін Ю. В. Варіаційне числення та методи оптимізації. Київ : Київський національний університет імені Т. Шевченка, 2010. 121 с.
2. Мартинюк П.М., Мічута О.Р. Методи оптимізації та дослідження операцій. Рівне : НУВГП, 2011. 283 с.
3. Клименко М.І., Швидка С.П., Кондрат'єва Н.О. Варіаційне числення та методи оптимізації. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 93 с.
4. Гребенюк С.М., Гоменюк С.І., Клименко М.І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Монографія. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2019. 350 с.
5. Miersemann E. Calculus of Variations. Lecture Notes. Leipzig : Leipzig University, 2012. 195 p.

До змістового модуля 4

1. Бобик О. І., Бобик І. В., Литвин В. В. Рівняння математичної фізики. Львів : Новий світ, 2020. 256 с.
2. Бондаренко В. Г. Рівняння математичної фізики. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 162 с.
3. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчук А. А. Методи математичної фізики. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 404 с.
4. Курпа Л. В., Линник Г. Б. Рівняння математичної фізики. Харків : ХПІ, 2011. 312 с.
5. Riley K. F., Hobson M. P., Bence S. J. Mathematical Methods for Physics and Engineering. Cambridge : University Press, 2016. 1363 p.

До змістового модуля 5

1. Бондаренко В. Г. Рівняння математичної фізики. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 162 с.
2. Бобик О. І., Бобик І. В., Литвин В. В. Рівняння математичної фізики. Львів : Новий світ, 2020. 256 с.
3. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчук А. А. Методи математичної фізики. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 404 с.
4. Курпа Л. В., Линник Г. Б. Рівняння математичної фізики. Харків : ХПІ, 2011. 312 с.
5. Riley K. F., Hobson M. P., Bence S. J. Mathematical Methods for Physics and Engineering. Cambridge : University Press, 2016. 1363 p.

До змістового модуля 6

1. Бондаренко В. Г. Рівняння математичної фізики. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. 162 с.
2. Бобик О. І., Бобик І. В., Литвин В. В. Рівняння математичної фізики. Львів : Новий світ, 2020. 256 с.
3. Піх С. С., Попель О. М., Ровенчук А. А. Методи математичної фізики. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. 404 с.
4. Курпа Л. В., Линник Г. Б. Рівняння математичної фізики. Харків : ХПІ, 2011. 312 с.
5. Riley K. F., Hobson M. P., Bence S. J. *Mathematical Methods for Physics and Engineering*. Cambridge : University Press, 2016. 1363 p.

Інформаційні ресурси

1. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL:
<https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=12871>
2. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14045-2#about-this-book>
3. https://www.astrosen.unam.mx/~aceves/Metodos/ebooks/riley_hobson_bence.pdf
<https://www.cambridge.org/highereducation/books/methods-of-mathematical-physics/45B07276A189F1B8149F26FDCC75180E#overview>
4. <https://ouci.dntb.gov.ua/editions/501gRNn4/>