

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

**Математичні моделі та чисельні методи розрахунку міцності корпусних
конструкцій суден і плавучих споруд**

**Mathematical models and numerical methods of calculation of strength of ship hull
constructions and floating structures**

рівень вищої освіти: другий (магістерський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Математичні моделі та чисельні методи розрахунку міцності корпусних конструкцій суден і плавучих споруд» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань G «Інженерія виробництво та будівництво», спеціальності G11 «Машинобудування», спеціалізації G11.04 «Суднобудування», за освітньо-професійною програмою «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд».

«24» березня 2026 року. – 25 с.

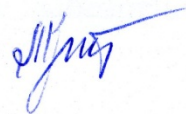
Розробники:
кандидат технічних наук



Валерій СОКОВ

Проект робочої програми навчальної дисципліни узгоджено з гарантом освітньої програми.

Гарант освітньої програми:
Д-р техн. наук, професор

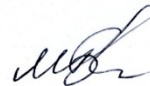


Леонтій КОРОСТИЛЬОВ

Проект робочої програми навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри будівельної механіки та конструкції корпусу корабля.

Протокол № 7 від «24» березня 2026 року.

В.о. завідувача кафедри



Максим БОБРОВ

Проект робочої програми навчальної дисципліни розглянуто Навчально-методичною комісією Кораблебудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 8 від «14» 04 2026 року.

Голова



Олексій ЯСТРЕБА

Проект робочої програми навчальної дисципліни погоджено з навчальним відділом.

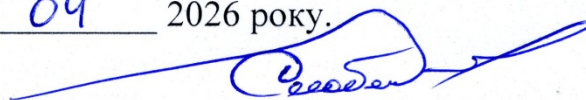
Начальник відділу

Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 4 від «29» 04 2026 року.

Голова НМР НУК



Сергій СЛОБОДЯН

© НУК, 2026

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Опис навчальної дисципліни	6
2 Мета навчальної дисципліни	7
3 Передумови для вивчення дисципліни	7
4 Очікувані результати навчання	7
5 Програма навчальної дисципліни	9
6 Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	17
7 Форми поточного та підсумкового контролю	19
8 Критерії оцінювання результатів навчання	19
9 Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	23
10 Рекомендовані джерела інформації	24

Прийняті скорочення

БМК – будівельна механіка корабля;
ОПП – освітньо-професійна програма;
РГР – розрахунково-графічна робота;
ПР – практична робота;
ЗМ – змістовий модуль;
М – модуль;
ПМК – поточно-модульний контроль;
лек – лекції;
лаб – лабораторні заняття;
пр – практичні заняття;
с.р. – самостійна робота.

Наприклад: РГР8 – розрахунково-графічна робота №8; ПР3 – практична робота №3.

ВСТУП

Анотація

Вивчаються математичні моделі та чисельні методи розрахунку компонентів напружено-деформованого стану пружних тіл. Розглядається застосування чисельних методів для розрахунку на міцність, жорсткість і стійкість стержнів, простих стержневих систем та пластин при дії на них простих і комбінованих навантажень та видів деформувань. Приділено увагу основним етапам розрахунку деформованих тіл та конструкцій. В основному розглядаються сіткові, варіаційні та/або енергетичні чисельні методи і метод скінченних елементів. Пояснено метод розділення/відокремлення змінних (метод Фур'є) для двовимірних задач. Охоплено застосування чисельних методів для визначення власних частот.

Вивчення дисципліни «Математичні моделі та чисельні методи розрахунку міцності корпусних конструкцій суден і плавучих споруд» ґрунтується на попередньо вивчених дисциплінах, таких як «Будівельна механіка корабля», «Опір матеріалів» та «Математика».

Ключові слова: пружне тіло, математичні моделі, чисельні методи, міцність, жорсткість, стійкість, вільні коливання.

Abstract

Mathematical models and numerical methods for calculating the components of the stress-strain state of elastic bodies are studied. The application of numerical methods for calculating the strength, stiffness and stability of rods, simple rod systems and plates under the action of simple and combined loads and types of deformations is considered. Attention is paid to the main stages of calculating of deformable bodies and structures. Mainly, mesh, variational and/or energy numerical methods and the finite element method are considered. The method of separation of variables (Fourier method) for two-dimensional problems is explained. There is covered the application of numerical methods for determining of eigen frequencies.

The study of the discipline "Mathematical models and numerical methods for calculating the strength of hull structures of ships and floating structures" is based on previously studied disciplines, such as "Construction mechanics of a ship", "Resistance of materials" and "Mathematics".

Keywords: elastic body, mathematic model, numerical methods, strength, rigidity, stability, eigen vibration.

1 Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво	Обов’язкова	
Модулів – 2		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		1-й	–
Електронний адрес РПНД на сайті Університету	Спеціальність G11 Машинобудування Спеціалізація G11.04 Суднобудування Освітня програма «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд»	Семестри	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: –		1,2-й	–
		Лекції	
		30 год.	–
		Лабораторні	
		–	–
Загальна кількість годин – 180		Практичні, семінарські	
		45 год.	–
Розподіл аудиторних годин для денної форми навчання на тиждень (лекції : лабораторні : практичні): 1:0:1 (семестр 1); 1:0:2 (семестр 2).	Освітній рівень: другий (магістерський)	Самостійна робота	
		105 год.	–
		Індивідуальні завдання: –	
		Форма контролю – письмова: семестр 1 – залік; семестр 2 – екзамен.	

2 Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Математичні моделі та чисельні методи розрахунку міцності корпусних конструкцій суден і плавучих споруд» є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми таких компетентностей:

1) **ІК.** Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у сфері суднобудування або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

2) **ЗК04.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

3) **ФК06.** Здатність керувати роботою підприємств та організацій, приймати відповідальні рішення в межах професійної компетенції.

4) **ФК07.** Здатність до практичного використання універсальних і спеціалізованих систем автоматизованого проектування (Computer-Aided Design – CAD) і інженерних досліджень (Computer-Aided Engineering – CAE) в галузі суднобудування.

5) **ФК09.** Здатність розв'язувати задачі механіки твердого деформованого тіла за допомогою аналітичних та чисельних методів з використанням комп'ютерної техніки.

3 Передумови для вивчання дисципліни

Навчальна дисципліна «Математичні моделі та чисельні методи розрахунку міцності корпусних конструкцій суден і плавучих споруд» є обов'язковою при підготовці магістрантів за освітньою програмою «Конструювання та міцність корпусу суден і плавучих споруд». Вивчення методів і положень цієї дисципліни потребує певного рівня знань низки дисциплін нормативної частини підготовки бакалаврів, таких як «Вища математика», «Будівельна механіка корабля», котрі за навчальним планом вивчаються в попередніх семестрах.

4 Очікуванні результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

1) **ПРН05.** Знаходити оптимальні рішення при проектуванні, конструюванні, виробництві, ремонті, реновації, експлуатації, обслуговуванні та утилізації продукції суднобудування (відповідно до освітньої програми) з урахуванням вимог якості, надійності, безпеки, енергоефективності, вартості та строків виконання.

2) **ПРН07.** Мати спеціалізовані концептуальні знання з суднобудування, набуті у процесі навчання та/або професійної діяльності, у тому числі знання і розуміння новітніх досягнень, необхідні для інноваційної та дослідницької діяльності (відповідно до освітньої програми).

3) **ПРН09.** Обирати і застосовувати необхідне устаткування, інструменти та методи для вирішення інженерних задач, пов'язаних з професійною діяльністю відповідно до освітньої програми.

4) **ПРН10.** Уміти ставити, досліджувати, аналізувати і розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми суднобудування, що потребують оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог.

5) **ПРН13.** Уміти обирати необхідні методи та засоби досліджень, розробляти та аналізувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі об'єктів дослідження, що стосуються проблем конструювання, оцінки міцності й стійкості конструкцій з металевих та композиційних матеріалів.

6) **ПРН14.** Уміти будувати відповідні математичні моделі розрахунків міцності й стійкості конструкцій та їх елементів з різних типів матеріалів.

7) **ПРН16.** Знати методи розрахунку на міцність та жорсткість корпусів морських транспортних суден і плавучих споруд.

8) **ПРН17.** Знати сучасні чисельні методи та інструментальні засоби розрахунку.

5 Програма навчальної дисципліни

5.1 Опис змістових модулів

Модуль 1

Семестр 1

Змістовий модуль 1. Основні поняття і положення. Сіткові та інші чисельні методи (ЗМ1)

Тема 1. Вступ. Основні етапи розрахунку деформованих тіл

Побудова фізичної моделі. Побудова математичної моделі. Методи дослідження математичної моделі і аналіз отриманого результату. Загальний огляд чисельних методів та їхні варіанти класифікацій.

Література: [4, с. 3-13].

Тема 2. Метод колокацій

Теоретичні основи методу колокацій. Варіанти методу колокацій, які пов'язані із задоволенням рядом диференціального рівняння та граничним умовам. Застосування методу колокацій для розрахунку міцності і жорсткості балок та пластин. Збіжність і стійкість методу.

Література: [5, с. 5]; [6, с. 68-71]; [15, с. 146, 148, 172, с. 173-175]; [19, с. 174]; [23, с. 64-75].

Тема 3. Точковий та інтегральний метод найменших квадратів

Теоретичні основи точкового і інтегрального методу найменших квадратів. Варіанти точкового і інтегрального методу найменших квадратів, які пов'язані із задоволенням рядом диференціального рівняння та граничним умовам. Застосування точкового і інтегрального методу найменших квадратів для розрахунку міцності і жорсткості балок та пластин. Збіжність і стійкість методу.

Література: [1, с. 468-473]; [5, с. 3-4, с. 10-12]; [6, с. 71-74]; [15, с. 146-147, с. 148-150, с. 172].

Тема 4. Метод скінченних різниць для одновимірної області

Теоретичні основи методу скінченних різниць для одновимірної області. Види методу скінченних різниць. Збіжність і стійкість методу [5, с. 17-52]. Отримання апроксимуючих залежностей для центральних похідних від функції одного змінного, виходячи з геометричного змісту похідної та з інтерполюючих поліномів.

Застосування методу скінченних різниць для розрахунку міцності і жорсткості балок. Застосування методу скінченних різниць для вирішення власних задач в одновимірній області на прикладі розрахунку стійкості та власних частот для балок (при згинальних коливаннях). Врахування симетрії конструкції та навантаження.

Література: [4, с.240-249]; [10, с. 76-81]; [12, с. 5-7]; [15, с. 139-145, с. 153-154, с. 156-157]; [17, с.75-81]; [18, с. 73-83]; [23, с. 35-41].

Тема 5. Метод скінченних різниць для багатовимірних областей

Отримання апроксимуючих залежностей для центральних похідних від функції двох та трьох змінних, використовуючи отримані апроксимуючі залежності для центральних похідних від функції одного змінного. Апроксимація граничних умов на криволінійному контурі.

Застосування методу скінченних різниць для розрахунку міцності і жорсткості пластин при плоскому напруженому стані і згині. Застосування методу скінченних різниць для вирішення власних задач в багатовимірній області на прикладі розрахунку стійкості та власних частот для пластин (при згинальних коливаннях).

Врахування симетрії конструкції та навантаження.

Література: [5, с. 247-272]; [12, с. 7-13]; [15, с. 162-165, с. 170-172, с. 175-176]; [18, с. 144-157].

Тема 6. Метод послідовних наближень

Основна ідея методу послідовних наближень. Застосування методу послідовних наближень на прикладі розрахунку балки на пружній основі. Збіжність і стійкість методу.

Література: [6, с. 6-12].

Тема 7. Метод розділення/відокремлення змінних (метод Фур'є)

Область застосування методу розділення змінних. Основні етапи застосування методу розділення змінних для рівнянь Лапласа і Пуассона від функції двох змінних. Застосування методу розділення змінних для бігармонічного однорідного та неоднорідного диференціального рівняння від функції двох змінних на прикладах застосування для плоскої задачі теорії пружності та згину жорсткої пластини. Збіжність і стійкість методу.

Література: [2, с. 57-85, с. 154-166]; [19, с. 219-221]; [20, с. 159-169].

Змістовий модуль 2. Варіаційні методи і загальні теореми будівельної механіки

Тема 8. Загальні теореми про пружні системи та їх застосування

Лінійно і нелінійно деформівні пружні системи [11, с. 46-48]. Узагальнені переміщення і узагальнені сили та зв'язок між ними. Робота зовнішніх сил. Теорема Клапейрона. Робота внутрішніх сил. Принцип можливих переміщень. Інтеграл Мора. Теорема про взаємність робіт і переміщень. Теорема Кастильяно і Лагранжа. Формула Максвела-Мора для визначення переміщень. Силова функція. Початок найменшої роботи.

Література: [1, с. 192-207, с. 214-223, с. 262-310, с. 385-398, с. 419-427]; [9, с. 4-37]; [11, с. 46-61]; [16, с. 354-385]; [22, с. 82-87, с.91-98]; [24, с. 70-90];.

Тема 9. Метод Рітца

Теоретичні основи методу Рітца. Варіанти методу Рітца, які пов'язані із задоволенням рядом диференціальному рівнянню та граничним умовам. Застосування методу Рітца для розрахунку міцності і жорсткості балок та пластин. Збіжність і стійкість методу.

Застосування методу Рітца для вирішення власних задач в одновимірній та багатовимірних областях на прикладі розрахунку стійкості та власних частот для балок і пластин (при згинальних коливаннях).

Варіаційно-різницевий метод [12, с. 31].

Література: [1, с. 457-460, с. 460-463, с.466-467, с. 479-494, с. 497-499]; [5, с. 10-16]; [6, с. 87-94, с. 136-140]; [8, с. 27-29, с. 198-199]; [10, с. 87-91]; [11, с. 62-67]; [12, с. 31]; [15, с. 147, с. 150-152]; [22, с. 90-95].

Тема 10. Метод Бубнова-Гальоркіна

Теоретичні основи методу Бубнова-Гальоркіна. Варіанти методу Бубнова-Гальоркіна, які пов'язані із задоволенням рядом диференціальному рівнянню та граничним умовам. Застосування методу Бубнова-Гальоркіна для розрахунку міцності і жорсткості і стійкості балок та пластин. Збіжність і стійкість методу.

Література: [1, с. 457-460, с. 460-463, с.464-466, с. 479-494, с. 499]; [3, с. 156-165]; [5, с. 3-4]; [6, с. 75-79]; [8, с. 31]; [10, с. 84-87]; [11, с. 67-72]; [15, с. 154, с. 157-158, с. 17]; [19, с. 173-174]; [22, с. 95-98].

Змістовий модуль 3. Метод скінченних елементів

Тема 11. Вихідні положення та основні перетворення

Ідеалізація вихідної конструкції. Метод переміщень і метод сил, їх переваги та недоліки. Матриця жорсткості і податливості скінченного елемента. Збіжність і

стійкість методу [8, с. 264-270]. Отримання матриці жорсткості з варіаційних принципів. Приведення об'ємних і поверхневих сил до еквівалентних вузлових зовнішніх сил [8, с. 46]. Перетворення матриці жорсткості і вектора вузлових навантажень скінченного елемента при повороті координатних осей. Прості типи скінчених елементів.

Література: [1, с. 504-520, с. 526-531, с. 535-540]; [8, с. 38-40]; [24, с. 91-92].

Тема 12. Формування загальної системи рівнянь

Формування загальної матриці жорсткості та загального вектору навантажень без врахування накладених в'язей на конструкцію за допомогою матриці індексів та інших методів. Врахування накладених в'язей на конструкцію при формуванні загальної системи рівнянь [8, с. 37]. Узгодження і нумерація локальних і глобальних параметрів скінчених елементів.

Література: [1, с. 540-548]; [8, с. 37, с. 41-43].

Тема 13. Розрахунки балок за методом скінчених елементів

Матриця жорсткості балочного скінченного елемента в місцевій системі координат. Формування вузлових зусиль балочного скінченного елемента. Порядок розрахунку компонентів деформування прямої балки на площині, яка складається з сукупності балочних скінчених елементів. Розрахунок плоских рам з нерухомими жорсткими вузлами та плоских перекриттів за методом скінчених елементів. Поняття про розрахунок складних просторових стержневих систем за методом скінчених елементів.

Література: [1, с. 548-554]; [8, с. 49-51, с. 53-55, с. 60-94]; [24, с. 92-115].

Тема 14. Розрахунок пластин в умовах плоского напруженого стану та при згині за методом скінчених елементів

Матриця жорсткості та вузлові зусилля трикутного скінченного елемента з трьома і шістьма вузлами для плоскої задачі теорії пружності. Матриця жорсткості та вузлові зусилля скінченного елемента жорсткої пластини при згині.

Визначення компонентів напружено-деформованого стану для прямокутної пластини в умовах плоского напруженого стану та для прямокутної жорсткої пластини при згині.

Література: [8, с. 95-136].

Тема 15. Застосування методу скінчених елементів для розрахунку стійкості і власних частот

Поняття про розрахунок стійкості і власних частот за методом скінчених елементів. Формування матриці мас [1, с.365-371]. Розрахунок стійкості та власних частот (без врахування опору) прямої балки на площині, яка складається з сукупності балочних скінчених елементів.

Література: [1, с.365-371]; [8, с. 199-204, с. 205-211].

5.2 Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр	с.р.
<i>I</i>	2	3	4	5	6
Модуль 1 (M1)					
Семестр 1					
Змістовий модуль 1. Основні поняття і положення. Сіткові та інші чисельні методи (ЗМ1)					
Тема 1. Вступ. Основні етапи розрахунку деформівних тіл	3	2	0	0	1
Тема 2. Метод колокацій	6	2	0	2	2
Тема 3. Точковий та інтегральний метод найменших квадратів	6	2	0	2	2
Тема 4. Метод скінченних різниць для одномірної області	22	2	0	4	16
Тема 5. Метод скінченних різниць для багатовимірних областей	16	4	0	6	6
Тема 6. Метод послідовних наближень	3	1	0	1	1
Тема 7. Метод розділення/відокремлення змінних (метод Фур'є)	4	2	0	0	2
Разом за ЗМ1	60	15	0	15	30
Разом за M1 (семестр 1)	60	15	0	15	30
Модуль 2 (M2)					
Семестр 2					
Змістовий модуль 2. Варіаційні методи і загальні теореми будівельної механіки (ЗМ2)					
Тема 8. Загальні теореми про пружні системи та їх застосування	12	2	0	2	8
Тема 9. Метод Рітца	16	2	0	6	8
Тема 10. Метод Бубнова-Гальоркіна	17	2	0	2	13
Разом за ЗМ2	45	6	0	10	29
Змістовий модуль 3. Метод скінченних елементів (ЗМ3)					
Тема 11. Вихідні положення та основні перетворення	4	2	0	0	2
Тема 12. Формування загальної системи рівнянь	4	2	0	0	2
Тема 13. Розрахунки балок за методом скінченних елементів	35	2	0	10	23
Тема 14. Розрахунок пластин в умовах плоского напруженого стану та при згині за методом скінченних елементів	23	2	0	8	13
Тема 15. Застосування методу скінченних елементів для розрахунку стійкості і власних частот	9	1	0	2	6

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	усього	у тому числі			
		лек	лаб	пр	с.р.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Разом за ЗМЗ	75	9	0	20	46
Разом за М2 (семестр 2)	120	15	0	30	75
Разом за увесь курс	180	30	0	45	105

5.3 Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
Модуль 1 (семестр 1)		
1	Розрахунок міцності балки і жорсткої пластини при згині за методом колокацій [тема 2]	2
2	Розрахунок міцності балки і жорсткої пластини при згині за точковим та інтегральним методами найменших квадратів [тема 3]	2
3	Розрахунок міцності балки при згині за методом скінченних різниць [тема 4]	2
4	Розрахунок стійкості балки за методом скінченних різниць [тема 4]	2
5	Розрахунок міцності жорсткої пластини при згині за методом скінченних різниць [тема 5]	3
6	Розрахунок стійкості жорсткої пластини за методом скінченних різниць [тема 5]	3
7	Розрахунок параметрів згину непризматичної балки на пружній основі за методом послідовних наближень [тема 6]	1
Всього за Модуль 1 (семестр 1)		15
Модуль 2 (семестр 2)		
8	Розрахунки стержнів із застосуванням теореми Кастиліано, інтегралу Мора і/або формули Максвелла-Мора, принципу найменшої роботи [тема 8]	2
9	Розрахунок міцності при згині і стійкості балки за методом Рітца [тема 9]	3
10	Розрахунок міцності при згині і стійкості жорсткої пластини за методом Рітца [тема 9]	3
11	Розрахунок міцності балки при згині за методом Бубнова-Гальоркіна [тема 10]	2
12	Розрахунок прямої балки на площині за методом скінченних елементів [тема 13]	4
13	Розрахунок рами на площині за методом скінченних елементів [тема 13]	3
14	Розрахунок плоского перекриття за методом скінченних елементів [тема 13]	3
15	Розрахунок прямокутної пластини в умовах плоского напруженого стану за методом скінченних елементів [тема 14]	4
16	Розрахунок прямокутної жорсткої пластини при згині за методом скінченних елементів [тема 14]	4
17	Розрахунок стійкості балки за методом скінченних елементів [тема 15]	2
Всього за Модуль 2 (семестр 2)		30

5.4 Розрахунково-графічні роботи (РГР) для самостійної роботи

№	Назва роботи	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
Модуль 1 (семестр 1)		
1	Визначення ейлерової сили втрати стійкості прямої балки за методом скінченних різниць [тема 4]	15

№	Назва роботи	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
	Всього за Модуль 1 (семестр 5)	15
Модуль 2 (семестр 2)		
2	Перевірка міцності прямої балки за методом скінченних елементів [тема 13]	20
	Всього за Модуль 2 (семестр 6)	20

5.5 Самостійна робота студентів

№	Вид роботи	Кількість годин
		Денна форма
1	2	3
1	Підготовка до лекцій	15
2	Підготовка до лабораторних робіт	0
3	Підготовка до практичних занять	45
4	Виконання розрахунково-графічних робіт	35
5	Підготовка до контрольних заходів	10
6	Разом	105

5.6 Розподіл видів робіт за темами і змістовими модулями

Модуль (М)	Змістовий модуль (ЗМ)	Тема (Т)	Види робіт		
			РГР	ЛР	ПР
1	2	3	4	5	6
М1	ЗМ1	Т1	–	–	–
		Т2	–	–	ПР1
		Т3	–	–	ПР2
		Т4	РГР1	–	ПР3, ПР4
		Т5	–	–	ПР5, ПР6
		Т6	–	–	ПР7
		Т7	–	–	–
М2	ЗМ2	Т8	–	–	ПР8
		Т9	–	–	ПР9, ПР10
		Т10	–	–	ПР11
	ЗМ3	Т11	–	–	–
		Т12	–	–	–
		Т13	РГР2	–	ПР12, ПР13, ПР14
		Т14	–	–	ПР15, ПР16
		Т15	–	–	ПР17

6 Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

6.1 Методи навчання за класичною класифікацією

Застосовуються наступні методи навчання за класичною класифікацією.

Для всіх видів занять:

- робота з літературою – опрацювання різних видів джерел, спрямоване на формування нових знань, їх закріплення, вироблення вмінь і навичок та реалізацію контрольної-корекційної функції в умовах формальної, неформальної та інформальної освіти;
- пояснення – словесне розкриття причинно-наслідкових зв'язків і закономірностей у розвитку природи, людського суспільства і людського мислення;
- демонстрування – наочно-чуттєве ознайомлення здобувачів з явищами, процесами, об'єктами в їх природному вигляді.

Для лекційних занять:

- лекція – усний виклад навчального матеріалу, який характеризується великим обсягом, складністю логічних побудов, сконцентрованістю розумових образів, доведень і узагальнень;
- ілюстрування – показ та сприйняття предметів, процесів і явищ у їх символічному зображенні за допомогою плакатів, карт, портретів, фотографій, схем, репродукцій, звукозаписів тощо;
- відеометод – використання відеоматеріалів для активізації наочно-чуттєвого сприймання; забезпечує більш легке і міцне засвоєння знань в їх образно-понятійній цілісності та емоційній забарвленості.

Для практичних та семінарських занять:

- практична робота – метод поглиблення і закріплення теоретичних знань та перевірки наукових висновків;
- інструктаж – ознайомлення зі способами виконання завдань, інструментами, матеріалами, технікою безпеки, показ операцій та організацію робочого місця;
- спостереження – тривале цілеспрямоване сприймання об'єктів чи явищ із фіксацією змін, які в них відбуваються, і виявлення на цій основі внутрішніх зв'язків і залежностей, розкриття сутності явищ.

Методи контролю і самоконтролю:

- фронтальне опитування;
- контрольні роботи, твори, диктанти, письмові заліки;
- контрольні тестові роботи програмованого типу (перелік запитань і можливі варіанти відповідей);
- графічна перевірка.

6.2 Методи навчання за альтернативною класифікацією

За альтернативною класифікацією застосовуються наступні методи навчання:

- пояснювально-ілюстративний метод – повідомлення готової інформації різними засобами (словесними, наочними, практичними) та усвідомлення і запам'ятовування цієї інформації здобувачами;
- репродуктивний метод – відтворення здобувачем способів діяльності за визначеним викладачем алгоритмом;
- частково-пошуковий – метод, за якого певні елементи знань повідомляє викладач, а частину здобувачі здобувають самостійно, відповідаючи на поставлені запитання чи розв'язуючи проблемні завдання;
- дослідницький – творче застосування знань, оволодіння методами наукового пізнання, формування досвіду самостійного наукового пошуку.

6.3 Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- усні відповіді;
- виконання практичних завдань;
- контрольні роботи;
- екзамени;
- комплексні іспити;
- стандартизовані тести;
- розрахункові та розрахунково-графічні роботи.

7 Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе бали за виконані РГР, оцінки з ПМК за темами змістових модулів, проміжного заліку та заключного екзамену.

Всі РГР обов'язково повинні бути виконані, представлені до перевірки і захищені. Форму захисту РГР викладач визначає самостійно. Окремих додаткових балів за захист вказаних робіт не надається. Остаточна оцінка/бали за РГР може бути зменшена з урахуванням захисту вказаних робіт. Тобто, якщо робота виконана на найвищий бал згідно критеріїв оцінювання (див. нижче), то ця оцінка може бути зменшена при невдалому захисті. Оцінка за окрему готову РГР виставляється лише після її захисту.

Наявність ПР в конспекті є ще однією умовою допуску студента до здачі екзамену або заліку.

У 1-му семестрі заключним контролем є письмовий **залік**, за який щонайбільше можна отримати **45 балів**. Зміст заліку полягає в написанні відповідей на 5 теоретичних питань. Максимальна кількість балів за одну повну відповідь на кожне теоретичне питання становить 9 балів (див. табл. 8.4). Ще щонайбільше **55 балів** студент може отримати за виконання РГР і тестів ПМК (див. табл. 8.1, 8.2), що в сумі з оцінкою заключного екзамену складатиме **100 балів**.

У 2-му семестрі заключним контролем є письмовий **екзамен**, за який можна отримати щонайбільше **45 балів**. Екзамен поєднує два теоретичні питання і задачу. Максимальна кількість балів за виконання задачі складає 27 балів, а за одну повну відповідь на кожне теоретичне питання – 9 балів (див. табл. 8.4, 8.5). Ще щонайбільше **55 балів** студент може отримати за виконання РГР і тестів ПМК (див. табл. 8.1, 8.2), що в сумі з оцінкою заключного екзамену складатиме **100 балів**.

8 Критерії оцінювання результатів навчання

До оцінювання приймаються звіти, які виконані згідно діючих вимог до оформлення. Якщо ключова інформація (текстова, графічна тощо), яка міститься у звітах до РГР, ПР, ПМК, у матеріалах письмового екзамену чи заліку не може бути однозначно ідентифікована, то вважається, що представлена інформація відсутня. Якщо звіти до РГР, ПР, ПМК, матеріали письмового екзамену чи заліку виконані з критичними порушеннями вимог до оформлення, то вважається, що робота не виконувалася.

Звіти можна виконувати рукописно, із застосуванням комп'ютерної техніки або комбіновано (рукописно + із застосуванням комп'ютерної техніки).

В табл. 8.1 наведені критерії оцінювання РГР. В табл. 8.2 наведені критерії оцінювання ПМК. В табл. 8.4 наведені критерії оцінювання відповіді на одне теоретичне питання для екзамену і заліку. В табл. 8.5 наведені критерії оцінювання однієї задачі для екзамену.

Якщо маються ситуації, які не описані в табл. 8.1, 8.2, 8.4, 8.5, то викладач може застосувати альтернативний спосіб оцінювання, прив'язуючи оцінку пропорційно до % якості відображених знань студентом в РГР, ПМК, матеріалах письмового заліку чи екзамену.

Формула вважається невірною, якщо в ній є хоча б одна помилка. Обчислення (за формулою або самостійне) вважається невірним, якщо кінцевий результат обчислення є невірним, навіть якщо підстановка чисел є вірною. Обчислення за невірними формулами є невірним, навіть якщо це обчислення виконано правильно, але за невірною формулою. Одна розрахункова схема вважається невірною, якщо вона містить хоча б одне критично невірне зображення зовнішніх сил, закріплень, геометричних розмірів, числової та символічної інформації і одиниць вимірювання. Одна графічна побудова вважається невірною, якщо вона містить хоча б один критично невірний графічний елемент, числову та символічну інформацію і одиниці вимірювання. При чому не витримування масштабу до розрахункових схем або графічних побудов не є помилкою.

РГР або задача оцінюються у послідовності: розрахункова схема (якщо є) → формули → обчислення → графічні побудови на основі обчислень (якщо є). Якщо якийсь із вказаних ланцюгів є невірним, то вважається, що решта наступних ланцюгів є невірною.

Таблиця 8.1 – Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи

Бали	Опис критерію
15	Максимально можлива кількість балів. Робота виконана у встановлений термін, з дотриманням основних вимог до оформлення. Текстова інформація може бути прочитана, а графічна інформація – однозначно зрозуміла. Пояснення чіткі, стислі, зрозумілі і послідовні. Розрахункові схеми, графічні побудови, формули та обчислення вірні. Висновки коректні і відповідають поставленим задачам.
13÷14	Всі розрахункові схеми, графічні побудови, формули і розрахунки вірні. Пояснення в РГР нечіткі, неповні, але можуть бути уточнені студентом.
11÷12	Всі розрахункові схеми вірні. Всі формули вірні. Більше половини розрахунків вірні. Графічні побудови містять помилки.
9÷10	Всі розрахункові схеми вірні. Всі формули вірні. Менше половини розрахунків вірні. Графічні побудови містять помилки.
7÷8	Більше 50% поставлених задач в РГР виконані невірно.
5÷6	Всі розрахункові схеми вірні. Більше половини формул невірні. Більше половини розрахунків за вірними формулами невірні.

Бали	Опис критерію
3÷4	Більше половини розрахункових схем невірні. Більше половини формул невірні. Більше половини розрахунків за вірними формулами невірні.
1÷2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів і вимог до оформлення та містить помилки, які студент не може самостійно виправити.
0	Робота не виконувалася.

Таблиця 8.2 – Критерії оцінювання поточного модульного контролю (ПМК) у формі тестування

Правильних відповідей, %	95-100	90-95	85-90	80-85	75-80	70-75	65-70	60-65	55-60	50-55	45-50
Бали	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
Правильних відповідей, %	40-45	35-40	30-35	25-30	20-25	15-20	10-15	5-10	3-5	<3	–
Бали	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	–

Таблиця 8.3 – Розподіл кількості балів за видами робіт без врахування екзамену або заліку

№	Форма контролю	Максимальна кількість балів	
		1-й модуль	2-й модуль
1	Виконання розрахунково-графічних робіт	1 × 15 = 15	1 × 15 = 15
2	Поточний модульний контроль	2 × 20 = 40	2 × 20 = 40
4	Всього	55	55

Таблиця 8.4 – Критерії оцінювання відповіді на одне теоретичне питання для екзамену і заліку

Бал	Критерії оцінювання
9	Максимально можлива кількість балів. Студент вільно володіє матеріалом, повністю розкрив тему питання, дає чіткі відповіді на додаткові питання.
7÷8	Студент володіє матеріалом, розкриває тему питання, може цілком дати відповідь на додаткові запитання
5÷6	Студент володіє матеріалом, але розкриває тему недостатньо повно, знає основні закони і принципи розрахунків, може допускати неточності при відповідях на додаткові запитання.
3÷4	Студент орієнтується в матеріалі, в формулюваннях допускає неточності. Відповідає не на всі додаткові запитання.
1÷2	Студент слабо орієнтується в матеріалі. Не може відповісти на більшість запитань.
0	Студент не орієнтується у матеріалах питання, не може відповісти на додаткові питання за змістом навчальної дисципліни

Таблиця 8.5 – Критерії оцінювання задачі для екзамену

Бал	Критерії оцінювання
27	Максимально можлива кількість балів. Задача вирішена вірно найлегшим шляхом. Всі завдання задачі виконані. Текстова інформація може бути прочитана, а графічна інформація – однозначно зрозуміла. Пояснення чіткі, стислі, зрозумілі і послідовні. Розрахункові схеми (якщо є), графічні побудови (якщо є), формули та обчислення вірні.
25÷26	Задача вирішена вірно, але більш складним шляхом, ніж це можливо. Всі завдання задачі виконані. Текстова інформація може бути прочитана, а графічна інформація – однозначно зрозуміла. Пояснення чіткі, стислі, зрозумілі і послідовні. Розрахункові схеми (якщо є), графічні побудови (якщо є), формули та обчислення вірні.
22÷24	Всі формули і розрахунки вірні. Задача виконана вірно. Пояснення до задачі і висновки неповні, але студент може доповнити. Розрахункові схеми і графічні побудови чіткі і вірні.
18÷21	Всі формули і розрахунки вірні. Задача виконана вірно, але є незначні помилки, наприклад, невірні одиниці вимірювання, або їх відсутність. Розрахункові схеми і графічні побудови (якщо такі є) дещо нечіткі і викликають неоднозначність сприйняття, але студент може все на них пояснити.
13÷17	Всі формули вірні. Більше половини розрахунків вірні.
9÷12	Всі формули вірні. Більше половини розрахунків невірні.
5÷8	Менше половини формул невірні. Більше половини розрахунків за правильними формулами невірні.
1÷4	Більше половини формул невірні. Більше половини розрахунків за правильними формулами невірні.
0	Задача не виконувалась.

Таблиця 8.6 – Розподіл видів робіт за модулями та балами

Модулі (М)	Змістовий модуль (ЗМ)	Тема (Т)	Вид роботи	Кількість балів
М1	ЗМ1	Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6, Т7	РГР1	1 × 15 = 15
			ПМК1.1 (Т1, Т2, Т3, Т4)	1 × 20 = 20
			ПМК1.2 (Т5, Т6, Т7)	1 × 20 = 20
	Всього за РГР, ПМК		–	55
	Підсумковий контроль		залік	45
	Всього		–	100
М2	ЗМ2	Т8, Т9, Т10	РГР2	1 × 15 = 15
			ПМК3	1 × 20 = 20
	ЗМ3	Т11, Т12, Т13, Т14, Т15	ПМК4	1 × 20 = 20
	Всього за РГР, ПМК		–	55
	Підсумковий контроль		екзамен	45
	Всього		–	100

9 Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

9.1 Навчальне обладнання

Плакати паперові; проектори і екрани до них; плакати і презентації в електронному вигляді; кінофільми; комп'ютерні класи.

10 Рекомендовані джерела інформації

- 1 Баженов В.А. Варіаційні принципи і методи будівельної механіки: Підручник. – К.: Каравела, 2012. – 720 с.
- 2 Вакал Є.С. Методи математичної фізики в прикладах і задачах : навчальний посібник для студентів механіко-математичного факультету / Є. С. Вакал, А. В. Ловейкін. – К.: Видавець Кравченко Я.О., 2020. – 188 с.
- 3 Ванін В.А. Математичні моделі та чисельні методи в задачах механіки суцільного середовища: Навчальний посібник / Ванін В.А.– Харків : НТУ «ХП», 2018. – 209 с.
- 4 Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень: Підручник: у 2 ч. – К.: Вища шк., 1995. – Ч.1. – 367 с.: іл..
- 5 Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень: Підручник: у 2 ч. – К.: Вища шк., 1995. – Ч.2. – 431 с.: іл..
- 6 Гой Т.П., Копач М.І., Федак І.В. Наближені методи розв'язування диференціальних рівнянь. Навчальний посібник для студентів напрямів підготовки “математика” та “прикладна математика” . – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ Центру інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 148 с.
- 7 Довгий Б.П. Методи обчислень. Конспект лекцій та практичні заняття : навчальний посібник для студентів механіко-математичного факультету / Б.П.Довгий, Є.С.Вакал, А.В. Ловейкін. – К.: 2024. – 246 с.
- 8 Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.
- 9 Киркач Б.М. Енергетичні методи опору матеріалів. Метод сил: навч.-метод. посіб. / Б.М. Киркач, О.Б. Киркач, В.Л. Хавін та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – 110 с.
- 10 Козуб Г.О. Чисельні методи : метод. рек. до виконання лабораторних робіт для студ. спец. 6.050103 „Програмна інженерія” / Г. О. Козуб, О. О. Смагіна ; Держ. закл. „Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка”. – Луганськ : ДЗ „ЛНУ імені Тараса Шевченка”, 2012. – 111 с.
- 11 Конспект лекцій з курсу «Будівельна механіка» підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за напрямом підготовки "Будівництво" / уклад. С.І.Федак. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2011.- 80 с.
- 12 Кузьменко В.І., Козакова Н.Л. Конспект лекцій із курсу "Числові методи математичної фізики". Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2013. 49 с.
- 13 Лізунов П. П. Будівельна механіка: конспект лекцій / П. П. Лізунов, В. О. Недін. – Київ.: КНУБА, 2022. – 172 с.
- 14 Марков А. Числення скінченних різниць. Київ, Харків: ОНТИ ДНТБУ НКТП, 1936. 235 с.
- 15 Мусіяка В.Г. Основи числових методів [Текст] підручник / В.Г. Мусіяка. - Дніпро : ЛПРА, 2017. - 256 с.
- 16 Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Є.С. Опір матеріалів: підручник. 2-е

вид., допов. і перероб. / за ред. Г.С. Писаренка. К: Вища школа, 2004. 655с.

- 17 Піскунов В.Г., Гриневецький Р.В. Розв'язання задачі коливань балок змінного перерізу методом скінченних різниць. Проблеми міцності. 2012. №1. с. 75-81.
- 18 Полтораченко Н. І. Практикум із чисельних методів : навч. посіб. / Н. І. Полтораченко, С. А. Теренчук, Ю. Н. Убайдуллаєв. – Київ: КНУБА, 2023. – 160 с.
- 19 Попов В. В. Методи обчислень : конспект лекцій для студентів механіко-математичного факультету / В. В. Попов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 303 с.
- 20 Прокопенко Ю. В., Казміренко В. А., Голубєва І. П. Методи математичної фізики та біофізики: Навч. посіб. – К.: Видавництво, 2023. – 174 с.
- 21 Суслов В.П., Кочанов Ю.П. Основи чисельних методів будівельної механіки корабля: Навчальний посібник. - Миколаїв: УДМТУ, 2003. - 72 с.
- 22 Тарасевич Ю.Я. Основи стійкості пружних систем»: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 218 с
- 23 Чисельні методи розв'язування звичайних диференціальних рівнянь»: методичні рекомендації та завдання до виконання комп'ютерного практикуму студентів напряму підготовки 6.030502 «Економічна кібернетика» / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ; [уклад. Т. А. Дунаєва]. – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 78 с.
- 24 Шутенко, Л. М. Конспект лекцій з курсу «Будівельна механіка» (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво») /Л. М. Шутенко, В. П. Шпачук, М. А. Засядько; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва – Х.: ХНАМГ, 2013. – 117 с.

