Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

“___” _____ 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Математичне моделювання в геометричному проектуванні

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності 113 Прикладна математика

2024 / 2025 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Математичне моделювання в геометричному проектуванні» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Романова Тетяна Євгеніївна, д-р техн. наук, професор,
провідний науковий співробітник
Яськов Георгій Миколайович, д-р техн. наук, доцент,
старший науковий співробітник

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 23 квітня 2025 року, протокол № 4.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу математичного моделювання й оптимального проектування.

Протокол № 1 від 21.04.2025 р.

Завідувач відділу

_____ Аврамов К. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Математичне моделювання. Механіка деформованого твердого тіла. Динаміка і міцність машин. Магнетизм технічних об'єктів».

Протокол № 7 від 22.04.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ Максименко-Шейко К. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодіння методами розв'язання оптимізаційних задач геометричного проектування, формування практичних умінь і навичок щодо засобів математичного та комп'ютерного моделювання відношень геометричних об'єктів, постановок задач у вигляді моделей математичного програмування, методів пошуку допустимих та локально оптимальних рішень у задачах, які мотивовані сучасними практичними застосуваннями.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Компетентності

ЗК8 Здатність виявляти, ставити і вирішувати проблеми.

ЗК10 Знання і розуміння предметної області та розуміння професії.

ЗК11 Здатність до абстрактного та аналітичного мислення й генерування ідей.

ФК1 Здатність виявляти актуальні прикладні математичні проблеми і застосовувати поглиблені знання з прикладної математики.

ФК2 Здатність розробляти математичні моделі, що адекватно описують геометрію досліджуваних об'єктів і систем та фізичні процеси в них.

ФК3 Здатність застосовувати сучасні методи математичного моделювання і оптимізації для розв'язання задач прикладної математики.

ФК4 Здатність розробляти і вдосконалювати методи моделювання теплових та механічних процесів і оптимального геометричного проектування.

ФК5 Здатність на основі сучасних методів моделювання і оптимізації розробляти алгоритми розрахунку.

ФК6 Здатність використовувати сучасні програмні засоби для розв'язання задач прикладної математики.

Програмні результати навчання

ПРН1 Знати та критично оцінювати теорії, положення та концептуальні підходи до вирішення комплексних наукових і практичних завдань в галузі прикладної математики.

ПРН2 Знати і розуміти принципи побудови математичних моделей геометричних об'єктів.

ПРН4 Знати сучасні методи моделювання і оптимального геометричного проектування і уміти вдосконалювати їх.

ПРН5 Вміти розробляти і вдосконалювати алгоритми моделювання фізичних процесів і оптимального геометричного проектування, реалізовувати їх за допомогою відповідного програмного забезпечення.

ПРН6 Вміти використовувати сучасне програмне забезпечення для розв'язання задач прикладної математики з розподіленими параметрами.

ПРН7 Вміти проводити розрахункові дослідження та аналізувати отримані чисельні результати.

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	2-й
Семестр	2-й
Загальна кількість годин	90

Вибіркова освітня компонента	
Лекції	24 год.
Практичні заняття	6 год.
Індивідуальні заняття	__ год.
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	залік

2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами

Освітні компоненти, що передують вивченню:

ОК2 Іноземна мова професійного спрямування

ОК5 Сучасні методи обчислювальної математики

ОК6 Математичне моделювання геометричних об’єктів та фізичних полів з використанням R-функцій

Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною:

немає

3. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

Знати: визначення та властивості phi-функції; метод побудови phi-функцій для базових та складених геометричних об'єктів; математичні моделі основних класів задач геометричного проектування (ODP-open dimension problem, KP-knapsack problem).

Вміти: в аналітичному вигляді описувати відношення неперетину, включення, розміщення на допустимих відстанях для базових та складених геометричних об'єктів; застосовувати метод phi-функцій при побудові математичних моделей задач геометричного проектування; застосовувати методи пошуку допустимих та локально-оптимальних розв’язків задач геометричного проектування; проводити чисельні експерименти та аналізувати отримані результати, використовувати отримані знання для розв’язання прикладних задач за спеціальністю.

Розуміти: властивості та можливості методу phi-функції для моделювання та розв’язання задач геометричного проектування.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Метод phi-функцій для моделювання відношень геометричних об’єктів в задачах геометричного проєктування / **Part 1.** The phi-function technique for modeling the placement constraints in the geometric design problems.

Тема 1. Вступ, зміст, мета та структура курсу, прикладні аспекти / Topic 1. Introduction, content, purpose and structure of the course, applications.

Тема 2. Базові та складені об’єкті / Topic 2. Basic and composed geometric objects.

Тема 3. Phi-функція. Визначення та властивості. Формалізація відношень геометричних об’єктів із застосуванням методу phi-функцій / Topic 3. Phi-function. Definition and properties. Analytical description of relations of geometric objects using the phi-function technique.

Тема 4. Phi-функції для базових та складених об’єктів / Topic 4. Phi-functions for basic and composed objects.

Розділ 2. Математичні моделі та методи розв’язання оптимізаційних задач геометричного проєктування / **Part 2.** Mathematical models and solution methods for optimization problems of geometric design.

Тема 5. Побудова математичних моделей оптимізаційних задач геометричного проектування як задач математичного програмування / Topic 5. Mathematical programming models for geometric design problems motivated by applications.

Тема 6. Методи побудови допустимих розміщень / Topic 6. Methods of generating feasible solutions.

Тема 7. Методи пошуку локальних екстремумів / Topic 7. Methods of searching for local-optimal solutions.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
Розділ 1. Метод phi-функцій для моделювання відношень геометричних об'єктів в задачах геометричного проєктування / Part 1. The phi-function technique for modeling the placement constraints in the geometric design problems							
Тема 1. Вступ, зміст, мета та структура курсу, прикладні аспекти / Topic 1. Introduction, content, purpose and structure of the course, applications.	**2**	2					
Тема 2. Базові та складені об'єкті / Topic 2. Basic and composed geometric objects.	**12**	4					8
Тема 3. Phi-функція. Визначення та властивості. Формалізація відношень геометричних об'єктів із застосуванням методу phi-функцій / Topic 3. Phi-function. Definition and properties. Analytical description of relations of geometric objects using the phi-function technique.	**8**	2					6
Тема 4. Phi-функції для базових та складених об'єктів / Topic 4. Phi-functions for basic and composed objects.	**22**	6	2				14
Разом за розділом 1	**44**	**14**	**2**				**28**
Розділ 2. Математичні моделі та методи розв'язання оптимізаційних задач геометричного проєктування / Part 2. Mathematical models and solution methods for optimization problems of geometric design							
Тема 5. Побудова математичних моделей оптимізаційних задач геометричного проектування як задач математичного програмування / Topic 5. Mathematical programming models for geometric design problems motivated by applications.	**18**	6					12
Тема 6. Методи побудови допустимих розміщень / Topic 6. Methods of generating feasible solutions.	**14**	2	2				10
Тема 7. Методи пошуку локальних екстремумів / Topic 7. Methods of searching for local-optimal solutions.	**14**	2	2				10
Разом за розділом 2	**46**	**10**	**4**				**32**
Усього годин	**90**	**24**	**6**				**60**

6. Самостійна робота

Метою самостійної роботи є навчитися користуватися навчально-методичними матеріалами, бібліотечними фондами, базами даних наукової літератури і інформаційними джерелами і іншими інформаційними джерелами, складати конспекти, аналізувати матеріал, порівнювати різні наукові концепції та робити висновки. Види самостійної роботи студента: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

Теми для самостійного вивчення

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Тема 2. Базові та складені об’єкті / Topic 2. Basic and composed geometric objects.	8
2	Тема 3. Phi-функція. Визначення та властивості. Формалізація відношень геометричних об’єктів із застосуванням методу phi-функцій / Topic 3. Phi-function. Definition and properties. Analytical description of relations of geometric objects using the phi-function technique.	6
3	Тема 4. Phi-функції для базових та складених об’єктів / Topic 4. Phi-functions for basic and composed objects.	14
4	Тема 5. Побудова математичних моделей оптимізаційних задач геометричного проектування як задач математичного програмування / Topic 5. Mathematical programming models for geometric design problems motivated by applications.	12
5	Тема 6. Методи побудови допустимих розміщень / Topic 6. Methods of generating feasible solutions.	10
6	Тема 7. Методи пошуку локальних екстремумів / Topic 7. Methods of searching for local-optimal solutions.	10
	Разом	**60**

Завдання для самостійної роботи

1. Побудувати кортеж геометричної інформації, що індукує складений phi-об'єкт, використовуючи операції об'єднання та перетину базових об'єктів. Візуалізувати складений об'єкт у власній системі координат.
2. Побудувати phi-функцію для опису неперетинну складених об'єктів, що застосовує оператори *min* та *max* базових phi-функцій.
3. Побудувати NLP (a nonlinear programming) модель для задачі розміщення заданого набору базових геометричних об'єктів у контейнері мінімального розміру (ODP).
4. Побудувати MINLP (a mixed-integer nonlinear programming) модель для задачі розміщення максимальної кількісті базових геометричних об'єктів у заданому контейнері (KP).
5. Розробити алгоритм та програму для розв’язання оптимізаційної задачі розрідженого компонування базових геометричних об'єктів (sparse layout).
6. Розробити алгоритм та програму для розв’язання оптимізаційної задачі балансного компонування базових геометричних об'єктів (balance packing).
7. Розробити алгоритм та програму для розв’язання задачі пакування масштабованих базових геометричних об'єктів (homothetic packing).

* за бажанням здобувача він може сам скласти перелік завдань для самостійної роботи, адаптувавши їх під своє наукове дослідження, за умови узгодження переліку і змісту завдань з викладачем і науковим керівником

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, самостійної роботи, консультацій, практичні – при здійсненні студентами самостійної роботи. Під час проведення лекцій використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація, робота із програмними продуктами для розв'язання задач геометричного проектування.

8. Методи контролю

Поточний контроль теоретичних знань, що отримані здобувачем вищої освіти ступеня доктора філософії здійснюється шляхом опитування та перевірки виконання завдань для самостійної роботи.

Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота							Разом	Сума
Розділ 1				Розділ 2			Індивідуальне завдання		
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7	16	100	100
12	12	12	12	12	12	12			

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – розуміння окремих визначень та положень, 2 – розуміння окремих засобів математичного моделювання, 3 – досконале засвоєння математичних моделей та методів, 4 – вміння адаптувати засвоєні моделі та методи для розв'язання задач геометричного проектування), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння вибрати математичну модель та метод розв'язання поставленої задачі; 2 – розробка методики розв'язання поставленої задачі, 3 – часткове застосування розробленої методики; 4 – повне застосування методики з отриманням частково помилкових результатів, 5 – вирішення поставленої задачі в цілому, 6 – повне вирішення поставленої задачі з творчим аналізом отриманих результатів).

Критерії оцінювання індивідуального завдання (16 балів): Відсутність помилок в теоретичній частині – 5 балів; Коректність викладок – 4 бали; Послідовність викладок – 4 бали; Логічність викладок – 3 бали.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50–100	Зараховано
1–49	Не зараховано

10. Рекомендоване методичне забезпечення

1. Романова Т.Є. Geometric design problems. Applications (Задачі геометричного проєктування. Прикладні аспекти). Навчальний посібник / Т.Є. Романова, І.В. Гребеннік, С.Б. Шеховцов.– Харків: ХНУРЕ, 2024. 71 с.

2. Методичні вказівки до виконання індивідуальних практичних завдань з дисципліни «Математичне моделювання в геометричному проектуванні» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика (освітньо-наукова програма «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур») [Електронне видання] / Упоряд. Т. Є. Романова. Харків: ІЕМС НАН України, 2024. 17 с.

3. Методичні вказівки та перелік завдань для самостійної роботи з дисципліни «Математичне моделювання в геометричному проектуванні» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 113 Прикладна математика галузі знань 11 Математика та статистика (освітньо-наукова програма «Математичне моделювання та оптимізація теплових, механічних процесів і складних геометричних структур») [Електронне видання] / Упоряд. Т. Є. Романова. Харків: ІЕМС НАН України, 2024. 15 с.

Основна література

1. Яськов Г.М., Гребеннік І.В., Романова Т.Є., Стецюк П.І., Урняєва І.А. Елементи теорії прийняття рішень та оптимізації. – Харків: ХНУРЕ, 2024. 190 с.
2. Kallrath J, Romanova T, Pankratov A, Litvinchev I, Infante L. Packing convex polygons into minimum-perimeter convex hulls (2023) Journal of Global Optimization, 85(1), 39-59.
3. I. Litvinchev, A. Fischer, T. Romanova, P. Stetsyuk. A New Class of Irregular Packing Problems Reducible to Sphere Packing in Arbitrary Norms. Mathematics 2024, 12(7), 935;
4. Pankratov, A., Romanova, T., Litvinchev, I. Packing oblique 3D objects (2020) Mathematics, 8 (7), 1130.
5. Stoyan, Y., Romanova, T. (2014) Mathematical Models of Placement Optimisation: Two- and Three-Dimensional Problems/ chapter in book, Modeling and Optimization in Space Engineering, Fasano, G., Pintér, J. (ed.) Springer, Problems and Applications, New York, p. 404

Допоміжна література

1. Scheithauer, U., Romanova, T., Pankratov, O., Schwarzer-Fischer, E., Schwentenwein, M., Ertl, F., Fischer, A. Potentials of Numerical Methods for Increasing the Productivity of Additive Manufacturing Processes (2023) Ceramics, 6 (1), pp. 630-650. DOI: 10.3390/ceramics6010038
2. Fischer, A., Litvinchev, I., Romanova, T., Stetsyuk, P., Yaskov, G. Quasi-Packing Different Spheres with Ratio Conditions in a Spherical Container (2023) Mathematics, 11 (9), DOI: 10.3390/math11092033.
3. Duriagina, Z., Pankratov, A., Romanova, T., Litvinchev, I., Bennell, J., Lemishka, I., Maximov, S. (2023). Optimized Packing Titanium Alloy Powder Particles. Computation. 11/22. https://doi:10.3390/computation11020022.
4. Romanova, T., Litvinchev, I., Pankratov, A. Packing ellipsoids in an optimized cylinder (2020) European Journal of Operational Research, 285 (2), pp. 429-443. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.01.051
5. Romanova, T., Pankratov, A., Litvinchev, I., Dubinskyi, V., Infante, L. Sparse layout of irregular 3D clusters (2023) Journal of the Operational Research Society, 74 (1), pp. 351-361. DOI: 10.1080/01605682.2022.2039568

Інформаційні ресурси

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни на сайті ipmach.kharkov.ua
2. Мережа Internet.
3. Бібліотека ІЕМС НАН України.
4. Комп'ютерна програма "Дослідницька система SC Phi-function 2D": Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 7450. Україна. Міністерство освіти и науки. Державний департамент інтелектуальної власності / Ю.Г.Стоян, М.И. Гіль, Т.Є. Романова, Д.И.Придатко. 2003
5. Комп'ютерна програма "Дослідницька система SC Phi -function 3D": Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 7451. Україна. Міністерство освіти и науки. Державний департамент інтелектуальної власності / Ю.Г.Стоян, М.И. Гіль, Т.Є. Романова, Д.И.Придатко. 2003.
6. Комп'ютерна програма "Solution space for two arbitrary shaped 2D phi-objects". Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, №42114, Україна. Міністерство освіти і науки. Державний департамент інтелектуальної власності/ Стоян Ю.Г., Романова Т.Є., Панкратов О.В., 2012.
7. Комп'ютерна програма "Balance circular packing" // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 55689. Україна. Міністерство освіти і науки. Державна служба інтелектуальної власності/ Стецюк П.І., Романова Т.Є., Коваленко Г.А. 2014.