

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра аерогідродинаміки (№ 101)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор наукової роботи
В. В. Павліков
(ініціал та прізвище)
2020 р.
Відділ аспірантури і докторантури



РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

АЕРОДИНАМІКА АВІАЦІЙНОЇ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Харків 2020 рік

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки
(вища дисципліна)

для здобувачів за спеціальністю 134 Авіаційної та ракетно-космічної техніки
освітньою програмою Авіаційна та ракетно-космічна техніка

«20» 06 2020 р., – с.

Розробник: Крашаниця Ю.О., професор, д-р техн. наук, професор

Гарант ОНП проф. Р.Г.Н.
(посада, науковий ступінь та іменне звання)

М. Мухомов
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 18 від «28» 08 2020 р. засідання кафедри № 104

Завідувач кафедри [підпис]
(посада, науковий ступінь та іменне звання) (підпис)

Григоренко С.М.
(прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури

[підпис]

В. Б. Селевко

Голова наукового товариства
студентів, аспірантів,
докторантів і молодих вчених

[підпис]

Т. П. Старовойт

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 5.0	Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування) Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код та найменування) Освітня програма <u>«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: третій (<u>освітньо-науковий</u>)	Обов’язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістових модулів – 4		2020/ 2021
Індивідуальне завдання: розрахунково-графічна робота математична модель та алгоритм числового розв’язання прикладної задачі за спеціальністю (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 150		3-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5,5 самостійної роботи аспіранта – 3,8		Лекції ¹⁾
		32 годин
		Практичні, семінарські¹⁾
		56 годин
		Лабораторні ¹⁾
		----- годин
		Самостійна робота
		62 години
		Вид контролю
		іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання – 88 / 62;

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення навчальної дисципліни Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки: побудова математичних моделей аеродинаміки, механіки рідин та газів, методів їх числової реалізації з метою визначення основних аеродинамічних, міцностних та пружно-пластичних характеристик об'єктів аерокосмічної техніки.

Завдання вивчення дисципліни Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки: оволодіння сучасними математичними моделями механіки рідин та газів та постановкою відповідних початково-крайових задач, числовими методами розв'язання початково-крайових задач механіки суцільних середовищ, засвоєння основних теоретичних та методичних принципів вирішення задач, які виникають в сучасній обчислювальній механіці та застосування їх на практиці при виконанні практичних розрахунків.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі повинні досягти таких компетентностей:

Загальні компетентності:

ЗК1 – Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК2 – Здатність освоїти методики навчання по окремим дисциплінам спеціальності

Фахові компетентності:

ФК1 – Здатність розвивати фундаментальні моделі та нові методи проектування та створювання авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ФК2 – Здатність аналізувати дані та оцінювати необхідні знання для розв'язання задач підвищення надійності, функціональної безпеки, живучості авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням сучасних математичних методів, зокрема штучного інтелекту, комп'ютерного моделювання тощо.

ФК3 – Здатність комунікувати іноземними мовами з представниками різних галузей знань та сфер діяльності з метою з'ясування їх потреб при створенні авіаційної та ракетно-космічної техніки.

ФК4 – Здатність до аналізу бібліографічних джерел у відповідності до наукових досліджень: вміти проводити пошук і порівняльний аналіз бібліографічних джерел у відповідності до поставленої мети, визначати неповноту наявної науково-технічної інформації.

ФК7 – Здатність застосовувати основні методи вищої математики та їх теоретичні основи.

Програмні результати навчання:

ПРН1 – уміти проводити пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, on-line ресурси.

ПРН5 – уміти використовувати економічні закони у процесі наукових досліджень та постановки задач експерименту.

ПРН8 – демонструвати вміння грамотно висловлюватися в усній та писемній формі рідною мовою результати наукових досліджень.

ПРН9 – називати і давати визначення основним англomовним поняттям у наукових дослідженнях.

ПРН12 – уміти орієнтуватися в патентній інформації і документації, досліджувати і кваліфіковано формулювати ознаки новизни в системах обробки інформації та управління, які розробляються, оформляти заявки на винаходи, вміти аналізувати технічні рішення з метою визначення їх обороноздатності і патентної чистоти.

ПРН13 – уміти представляти та обговорювати наукові результати іноземною мовою (англійською або іншою, відповідно до специфіки спеціальності) в усній та письмовій формах, приймати участь у наукових дискусіях і конференціях.

ПРН14 – уміти надавати математичного змісту певній практичній задачі та застосовувати основні методи вищої математики до розв'язування задач.

Міждисциплінарні зв'язки: математика; фізика; аерогідродинаміка та газова динаміка; аеродинамічне проектування літальних апаратів, технологічні процеси виробництва літальних апаратів. Питання, які розглядаються в курсі, потрібні аспірантам при вивченні наступних дисциплін:

- міцність літальних апаратів та їх частин (розрахунки аеродинамічних та пружних навантажень);
- конструкція літальних апаратів (вплив геометричних параметрів та експлуатаційних характеристик літальних апаратів на їх аеродинамічні та міцнісні характеристики), їх частин та газо- гідравлічних систем постачання;
- технологія виробництва літальних апаратів (математичне моделювання процесів обробки, газодинамічний аналіз руху обладнання, гідродинаміка ливарного виробництва та ін.).

Згідно з вимогами освітньої програми аспіранти повинні:

знати:

1. Інтегральні та диференціальні форми законів збереження механіки суцільних середовищ.
2. Класифікацію початково-крайових задач аеродинаміки та механіки рідин і газів.
3. Методи наближеного розв'язання диференціальних рівнянь як звичайних, так й в частинних похідних.
4. Методи наближеного розв'язання інтегральних рівнянь відповідних початково-крайових задач прикладного спрямування.

вміти:

1. Коректно формулювати початково-крайову задачу та створювати алгоритми наближеного розв'язання поставленої прикладної задачі аеродинаміки та газової динаміки, загальної механіки суцільних середовищ.

2. Будувати програмні продукти спрямовані на реалізацію створеного алгоритму наближеного розв'язання відповідної прикладної задачі.

мати уявлення:

1. Про сучасний стан розвитку математичних моделей механіки суцільних середовищ.
2. Про перспективи впровадження числових методів механіки в процес створення об'єктів аерокосмічної техніки.
3. Про методи аналізу точності та збіжності результатів розв'язання задач наближеними методами.
4. Про існуючі пакети прикладних програм числових методів, які використовуються в процесі створення об'єктів аерокосмічної техніки.
5. Про зміст, форму та організацію проведення обчислювального експерименту.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Поняття про суцільне середовище, його фізичні та кінематичні характеристики.

Тема 1. Фізико-хімічні характеристики рідин та газів, твердого тіла. Класифікація суцільних середовищ. Щільність та в'язкість суцільних середовищ. Пружні характеристики твердого тіла.

Тема 2. Завдання руху суцільного середовища

Геометричні та векторні характеристики руху суцільного середовища. Аналітична геометрія на площині та в просторі. Диференціальні характеристики кривих та поверхней. Задовільні системи координат в просторі, на площині та поверхні.

Тема 3. Математичний апарат. Векторно-тензорний аналіз та його узагальнення, диференціальні та інтегральні теореми. Диференціальні форми та інтегральні теореми, їх механічний зміст. Дивергенція. Теореми Остроградського-Гаусса та Стокса, їх механічний зміст. Диференціальні операції над векторами у задовільній системі криволінійних координат.

Тема 4. Переміщення і деформація суцільного середовища. Методи кінематичного випробування руху рідин, газів та середовищ що деформуються. Швидкість та прискорення частинки в фіксованій точці. Розкладання руху рідкої частинки. Тензор швидкостей деформацій та його інваріанти. Перша теорема Гельмгольца. Швидкість об'ємного розширення суцільного середовища.

Змістовний модуль 2. Закони збереження механіки рідин та газів.

Тема 5. Диференціювання об'ємних інтегралів. Локальна і конвективна складові прискорення частини середовища. Розподіл маси в суцільному середовищі. Сили масові і поверхневі. Густина сили. Тензор напруги. Зв'язок між компонентами тензора напружень і тензора швидкостей деформацій. Закон Нав'є-Стокса.

Тема 6. Інтегральні та диференціальні форми законів збереження маси, імпульсу та енергії. Закон збереження моменту імпульсу та симетрія тензора напружень. Теореми Грина та Бетті.

Тема 7. Елементи теорії подоби в задачах динаміки в'язкого газу. Збіжні просторово-часові точки. Рівняння законів збережень у безрозмірному вигляді. Критерії подоби.

Змістовний модуль 3. Постановка та класифікація початково-крайових задач механіки рідин та газів.

Тема 8. Початкові та крайові умови в задачах механіки суцільних середовищ. Лінеаризація диференціальних рівнянь законів збереження механіки суцільних середовищ. Крайові задачі для рівнянь еліптичного типу. Початково-крайові задачі для рівнянь параболічного типу, рівняння теплопровідності. Початково-крайові задачі для рівнянь гіперболічного типу, рівняння коливань.

Тема 9. Інтегральні представлення розв'язків початково-крайових задач механіки суцільних середовищ. Існування та єдинність розв'язків початково-крайових задач механіки суцільних середовищ.

Змістовний модуль 4. Числові методи розв'язання початково-крайових задач аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів.

Тема 10. Наближене розв'язання звичайних диференціальних рівнянь.

Тема 11. Метод кінцевих різниць розв'язання диференціальних рівнянь.

Тема 12. Числове диференціювання. Апроксимаційні формули. Порядок апроксимації. Функціональні ряди. Інтерполяція та числове інтегрування. Оцінка погрешностей квадратурних формул.

Тема 13. Інтегральні представлення розв'язків лінеаризованих рівнянь законів збереження. Метод скінчених елементів. Метод граничних інтегральних рівнянь. Наближені методи розв'язків інтегральних рівнянь: метод моментів; метод послідовних наближень; метод скінчених додатків, триангуляція поверхонь.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин								
	Денна форма					Заочна форма			
	Усього	У тому числі			Усього	У тому числі			
		л	семін.	сам. роб.		л	п	лаб.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Модуль 1									
Змістовий модуль 1. Поняття про суцільне середовище, його фізико-хімічні та кінематичні характеристики									
Тема 1. Фізико-хімічні характеристики рідин та газів, твердого тіла.	6	2	2	2	-	-	-	-	-
Тема 2. Завдання руху суцільного середовища	10	2	4	4	-	-	-	-	-
Тема 3. Математичний апарат	16	2	6	8	-	-	-	-	-

Тема 4. Переміщення і деформація суцільного середовища	12	2	4	6	-	-	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	44	8	16	20		-	-	-	-
Змістовий модуль 2. Закони збереження механіки рідин та газів									
Тема 5. Тензор напружень і тензор швидкостей деформацій	10	2	4	4					
Тема 6. Закони збереження механіки рідин та газів	14	2	8	4					
Тема 7. Елементи теорії подоби при течіях в'язкого газу	2	2							
Тема 8. Лінеаризація початково-крайових задач аерогазодинаміки	4	2	2	2					
Разом за змістовим модулем 2	30	6	14	10					
Змістовий модуль 3. Постановка та класифікація початково-крайових задач аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів									
Тема 9. Типи та класифікація диференціальних рівнянь математичної фізики	4			2					
Тема 10. Початкові та крайові умови	6	2	2	2					
Тема 11. Інтегральні представлення розв'язків початково-крайових задач	12	4	4	6					
Разом за змістовим модулем 3	22	6	6	10					
Змістовий модуль 4. Числові методи розв'язання початково-крайових задач аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів									
Тема 12. Наближене розв'язання звичайних диференціальних рівнянь	10	2	4	4					
Тема 13. Метод кінцевих різниць розв'язання диференціальних рівнянь	8	2	4	2					
Тема 14. Числове інтегрування	14	4	4	6					
Тема 15. Наближені методи розв'язання диференціальних та інтегральних рівнянь	22	4	8	10					
Разом за змістовим модулем 4	54	12	20	22					
Усього годин	150	32	56	62					

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	Фізико-хімічні характеристики рідин та газів,	4	-
2	Геометричні та векторні характеристики руху суцільного середовища	8	-
3	Векторно-тензорний аналіз та його узагальнення, диференціальні та інтегральні теореми	8	-
4	Розкладання руху частинки суцільного середовища. Тензор швидкостей деформацій та його інваріанти. Тензор напружень	4	-
5	Диференціальні форми законів збереження механіки суцільних середовищ	8	-
6	Коректна постановка початкових та крайових умови в задачах аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів	6	-
7	Інтегральні представлення розв'язків початково-крайових задач механіки суцільних середовищ	6	-
8	Існуючі методи наближеного розв'язування диференціальних та інтегральних рівнянь аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів на основі загальних законів збереження	12	-
Разом		56	-

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
1	Вплив зовнішніх факторів (температуру, тиск та ін.) на фізико-хімічні характеристики рідин та газів	6	-
2	Консервативні форми законів збереження та перспективність їх використання при числових реалізаціях	8	-
3	Інтегральні представлення розв'язків систем консервативних форм законів збереження за допомогою узагальнених інтегральних теорем векторно-тензорного аналізу	16	
4	Побудова алгоритмів числового розв'язання диференціальних форм законів збереження	16	
5	Побудова алгоритмів числового розв'язання інтегро-диференціальних рівнянь відповідних законів збереження	16	
Разом		62	-

7. Індивідуальні завдання

1. Інтегральні представлення розв'язків лінеарізованих задач механіки суцільних середовищ.
2. Квадратурно-інтерполяційний метод розв'язання граничних інтегральних рівнянь аеродинаміки та газової динаміки літальних апаратів.
3. Квадратурно-інтерполяційний метод розв'язання граничного інтегрального рівняння щодо початково-крайової задачі Озеена.
4. Квадратурно-інтерполяційний метод розв'язання граничного інтегрального рівняння щодо крайової задачі Стокса руху в'язкої рідини при малих числах Рейнольдса.
5. Плоский потенціальний рух ідеальної нестисливої рідини. Метод теорії функцій комплексної змінної в застосуванні до розв'язання задач гідромеханіки.
6. Розв'язання д'Аламбера для гіперболічного рівняння коливань.
7. Основні поняття теорії різницевих схем. Шаблон. Апроксимація, збіжність, стійкість, точність, ефективність, консервативність, дифузія, дисперсія.
8. Розрахунок аеродинамічного навантаження при обтіканні тілесного профілю дозвуковим потоком в'язкого газу.
9. Застосування кінцево-елементних пакетів ANSYS Workbench, Fluent, Inventor та ін. для розв'язання задач механіки рідини та газу.

9. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, семінарських занять та консультації, самостійна робота аспірантів за матеріалами, які існують у фондах бібліотеки університету, у відповідних інтернет-мережах та опубліковані співробітниками кафедр аеродинаміки.

10. Методи контролю

Проведення поточного контролю на семінарських заняттях, модульного контролю та семестрового контролю у вигляді іспиту (до іспиту допускається аспірант, що виконав усі види робіт передплачених цією програмою).

11. Розподіл балів, які отримують аспіранти

Поточне тестування і самостійна робота																	С у м а	Підсумкови й тест (залік/іспит) у разі відмови від балів поточного тестування та за наявності допуску до заліку/іспит у
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2			Змістовий модуль 3			Змістовий модуль 4					Індивідуальне завдання		
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	ЗМ 1	Т 5	Т 6	ЗМ 2	Т 7	Т 8	ЗМ 3	Т 9	Т1 0	Т1 1	Т1 2	ЗМ 4			
2	2	4	4	12	8	8	16	4	8	12	6	6	8	8	28	32	100	100

T1 ... T12 – теми змістовних модулів.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диф. залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

12. Методичне забезпечення

№ п/п	Назва підручника або посібника	Кількість примірників	Наявність електронної версії
1	Крашаница, Ю.А. Аэрогидродинамика: основные законы и математические модели: учеб. пособие. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 2004. – 287 с.	58	+
2	Крашаница, Ю. А., Шаройко, Д.П. Автоматизация теоретических и экспериментальных исследований в аэрогидродинамике. Учеб.пособие. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. "ХАИ", 2003. – 129 с..	30	+
3	Холявко, В.И. Расчет аэродинамических характеристик самолета. Уч. пособие «ХАИ» 1991. - 93 с.	50	-
4	Холявко, В.І. Аеродинамічні характеристики літака. – Навч. посібник. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1998. – 80 с.	20	-
5	Меньшиков, В.И. Аэродинамические характеристики самолетов. Уч. пособие. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1984. – 57 с.	20	-
6	Сахно, А.Г. Жидкости и газы. Их свойства и	20	+

	математические модели. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 106 с.		
7	Сахно, А.Г. Расчет основных летно-технических характеристик самолета с использованием ЭВМ. Учеб.пособие. – Х.: Харк. авиац. ін-т, 1989. – 63 с.	16	+
8	Тюрев, В.В. Аэродинамические характеристики крыла. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 129 с.	25	+
9	Методические указания по определению аэродинамических характеристик ЛА с использованием ЭВМ /А.Г.Сахно, В.И.Холявко. – Х.: Харк. авиац. ін-т, 1979. – 56 с.	30	+
10	Грайворонский, В.А. Расчет аэродинамических характеристик вертолета. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 1989.- 62 с.	20	-
11	Борисенко, А.И. Газовая динамика двигателей. – М.: Оборонгиз, 1962. – 794 с.	3	-
12	Литвин, Ю.Г. Компьютерная графика. Геометрическое моделирование. Консп. лекций. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. “ХАІ”. 2000. – 108 с.	50	+

13. Рекомендована література

Базова

№ п/п	Назва підручника або посібника	Кількість примірн.	Електронна версія
1	Ильюшин, А.А. Механика сплошных сред. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.	7	+
2	Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988. – 736 с.	14	+
4	Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1970. – 904 с.	30	+
5	Тихонов, А.Н., Самарский, А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736 с.	8	+
6	Бахвалов, Н.С., Жидков, Н.П., Кобельков, Г.М. Численные методы. – М.: Наука, 1987. – 600 с.	25	+
7	Самарский, А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. - 616 с.	6	+
8	Крауч, С., Старфилд, А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир, 1987. – 328 с.	2	+
10	Еременко, С.Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. – Х.: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1991. – 272 с.	30	+
11	Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. – М.: Мир, 1991. Т. 1. – 502 с. Т. 2. – 552 с.	5	+
12	Пирумов, У.Г., Росляков, Г.С. Численные методы газовой динамики. Учеб. пособие для студентов втузов – М.: Высш.шк., 1987. – 232 с.	12	+

Допоміжна

	Назва підручника або посібника	Кількість примірн.	Електронна версія
1	Андерсон, Д., Таннехилл, Дж., Плетчер, Р.. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М.: Мир, 1990. Т.1. – 384. Т. – 2. – 726 с.	6	+
2.	Арнольд, В.И. Математические методы классической механики. – М.: Наука, 1974. – 432 с.	3	+
3	Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред. - М.: Наука, 1984. - 519 с.	5	+
4	Бисплингхофф, Р.Л., Эшли, Х., Халфман, Р.Л.. Аэроупругость. – М.: Изд-во ИЛ, 1958. – 799 с.	3	+
5	Вольмир, А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи аэроупругости. – М.: Наука, 1976. – 416 с.	12	+
6	Колтон, Д., Кресс, Р. Методы интегральных уравнений в теории рассеяния. – М.: Мир, 1987. – 312 с.	10	+
7	Метод граничных интегральных уравнений. Вычислительные аспекты и приложения в механике / Под ред. Т. Круза, Ф. Риццо. – М.: Мир, 1978. – 210 с.	-	+
8	Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления.- М.: АН СССР, 1961. – 427 с.	5	-
9	Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. – М.: Гостехиздат, ч. 1. 1948.- 536 с.	12	+
10	Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. – М.: Гостехиздат. Ч. 2. 1949. – 612 с.	12	+
11	Крашаница, Ю.А. Векторно-тензорный анализ, теория потенциала и метод граничных интегральных уравнений в начально-краевых задачах аэрогидродинамики.– К.: Наук. думка, 2016. – 273 с.	5	+
12	Купрадзе, В.Д. Методы потенциала в теории упругости. – М.: Физматгиз, 1963. – 472 с.	3	+
13	Марчук, Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608 с.	15	+
14	Седов, Л.И. Механика сплошных сред. – М.: Наука, 1970. Т.1 – 492 с. Т. – 492 с.	20	+
15	Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1967. – 428 с.	25	-
16	Сезерленд, Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.	-	+