

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
В. В. Павліков
(підпис) (ім'я та прізвище)
« » 2021 р.



Відділ аспірантури та докторантури

РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

АЕРОДИНАМІКА АВІАЦІЙНОЇ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

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


Освітня програма: «Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки»
(найменування освітньої програми)


Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Харків 2021 рік

Робоча програма «Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки»
(назва дисципліни)

для здобувачів за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
освітньої програми Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Розробник: професор каф. 101, д.т.н., професор  Крашаниця Ю.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)


Гарант ОНП: професор каф. 103, д.т.н., професор  Малков І.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 21/22-01 від «30» серпня 2021 р. засідання кафедри №101

Завідувач кафедри 101, к.т.н., доцент  Срьоменко С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури

 В.Б. Селевко

В.о. голови наукового товариства
студентів, аспірантів,
докторантів і молодих вчених

 С.С. Жила

1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни | |
|---|---|--|-----------------------|
| | | Денна форма навчання | Заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 5.0 денна | <p style="text-align: center;">Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p style="text-align: center;">Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код та найменування)</p> <p style="text-align: center;">Освітня програма <u>«Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки»</u> (найменування)</p> <p style="text-align: center;">Рівень вищої освіти: третій (<u>освітньо-науковий</u>)</p> | Цикл підготовки вибірковий | |
| Кількість модулів – 2 | | Навчальний рік | |
| Кількість змістових модулів – 4 | | 2021/ 2022 | |
| Індивідуальне завдання: розрахунково-графічна робота математична модель та алгоритм числового розв'язання прикладної задачі за спеціальністю (назва) | | Семестр | |
| Загальна кількість годин – 150 денна – 150 | | 4-й | ___-й |
| Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 11 год. самостійної роботи студента – 8 год. | | Лекції¹⁾ | |
| | | 32 годин | ___ годин |
| | | Практичні, семінарські¹⁾ | |
| | | 56 годин | ___ годин |
| | | Лабораторні¹⁾ | |
| | ___ годин | ___ годин | |
| | Самостійна робота | | |
| 62 годин | ___ годин | | |
| 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.

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 міцностні характеристики), їх частин та газо-гідравлічних систем постачання;
- технологія виробництва літальних апаратів (математичне моделювання процесів обробки, газодинамічний аналіз руху обладнання, гідродинаміка ливарного виробництва та т.і.).

Згідно з вимогами освітньої програми студенти 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 | 10 | 2 | 4 | 4 | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|--|---|---|---|---|
| швидкостей деформацій | | | | | | | | | |
| 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 | | | | | |
| Модуль 2 | | | | | | | | | |
| Індивідуальне завдання | | | | | | - | - | - | - |
| Усього годин | | | | | | - | - | | - |

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 (температура, 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 лінеаризованих 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 різницевої 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 інш. для розв'язання задач механіки рідини та газу.

9. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, семінарських занять та консультації, самостійна робота студентів 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 студент, що виконав усі види робіт передплачених цією програмою).

Більш детально система оцінювання описана у «Критеріях оцінювання з дисципліни «Аеродинаміка авіаційної та ракетно-космічної техніки»»

11. Розподіл балів, які отримують студенти

| 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 | 10 0 | 100 |

T1 ... T12 – теми змістовних модулів.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою | |
|--|----------------|--|---|
| | | для екзамену, курсового проекту (роботи), практики | для заліку |
| 90-100 | A | відмінно | зараховано |
| 83-89 | B | добре | |
| 75-82 | C | | |
| 68-74 | D | | |
| 60-67 | E | задовільно | не зараховано з можливістю повторного складання |
| 01-59 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання | |

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 | + |
| 3 | Ерёменко, С. М. Аэродинамика летательных аппаратов: учеб. пособие. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского "Харьк. авиац. ин-т", 2018. – 384 с. | | |
| 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. авиац. ін-т, 1998. – 80 с. | 20 | - |
| 5 | Меньшиков, В.И. Аэродинамические характеристики самолетов. Уч. пособие. – Х.: Харк. авиац. ин-т, 1984. – 57 с. | 20 | - |
| 6 | Сахно, А.Г. Жидкости и газы. Их свойства и математические модели. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 106 с. | 20 | + |
| 7 | Сахно, А.Г. Расчет основных летно-технических характеристик самолета с использованием ЭВМ. Учеб.пособие. – Х.: Харк. авиац. ин-т, 1989. – 63 с. | 16 | + |
| 8 | Тюрёв, 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. ин-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. "ХАИ". 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 вузов – 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. | - | + |

14. Інформаційні ресурси існують