

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

Кафедра міцності літальних апаратів (№ 102)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи


Володимир ПАВЛІКОВ

«___» _____ 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Високоточні методи визначення напружено-деформованого стану
(назва навчальної дисципліни)

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

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка,
(код і найменування спеціальності)

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

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Харків 2024 рік

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Наукові методи визначення міцності літальних апаратів
(назва навчальної дисципліни)

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

« 24 » 05 2024р., 14с.

Розробник: завідувач каф.102, д.т.н. професор
(посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Мірошніков В.Ю.
(прізвище та ініціали)

Гарант ОНП професор каф.103, д.т.н., проесор
(посада, науковий ступінь і вчене звання)

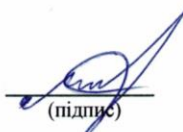

(підпис)

Малков І.В.
(прізвище та ініціали)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри міцності літальних апаратів
(назва кафедри)

Протокол № 5 від « 24 » травня 2024 р.

Завідувач кафедри д. т. н., професор
(наукова ступінь та вчене звання)


(підпис)

В.Ю.Мірошніков
(ініціали та прізвище)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури



В. Б. Селевко

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 5	<p>Галузь знань <u>13 Механічна інженерія</u> <small>(шифр і найменування)</small></p> <p>Спеціальність <u>134 Авіаційна та ракето-космічна техніка</u> <small>(код і найменування)</small></p> <p>Освітня програма <u>Авіаційна та ракето-космічна техніка</u> <small>(найменування)</small></p> <p>Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)</p>	Цикл професійної підготовки (вибіркова)
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2024/2025
Індивідуальне завдання:		Семестр
Загальна кількість годин –150 Кількість годин аудиторних занять/загальна кількість годин – 68/150		3-й
		Лекції*
		34
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних –4 самостійної роботи студента – 7		Практичні, семінарські*
		34
		Лабораторні*
	-	
	Самостійна робота	
	82	
	Вид контролю	
	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 68/82.

*Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: засвоїти знання про високоточні методи визначення напружено-деформованого стану деталей та вузлів аерокосмічної техніки. Отримати необхідні навички про створення розрахункових моделей, моделювання механічної поведінки навантажених елементів, проводити аналіз отриманих результатів та роботи висновки.

Завдання: набути навичок роботи з високоточними аналітико-числовими методами визначення напружено-деформованого стану, навчитися застосуванню сучасних програмних комплексів для реалізації створених методів розрахунку.

Загальні компетентності (ЗК):

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Здатність працювати в міжнародному контексті.

Здатність розробляти проекти та управляти ними.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в авіаційній та ракетно-космічній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з авіаційної та ракетно-космічної техніки та суміжних галузей.

Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в авіаційній та ракетно-космічній техніці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасної методології, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

Програмні результати навчання.

Мати знання про високоточні методи визначення напружено-деформованого стану. Розуміння переваг, недоліків та обмежень аналітико-числових методів, комбінації вже винайдених методів.

Мати уявлення про недосліджені ділянки механіки деформівного твердого тіла, моделі яких дотичні до енергетичного машинобудування та аерокосмічної техніки.

Вміти створювати розрахункові моделі з реальної конструкції, пристосовувати модель до можливостей аналітико-числового методу. Застосовувати ці методи у власних дослідженнях та у викладацькій практиці.

Володіти сучасними програмними комплексами, що дозволяють реалізувати алгоритми та методи розрахунку АРКТ та інших суміжних галузей.

Результати навчання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен **знати:**

- рівняння Ламе;
- базисні розв'язки рівняння Ламе для тіла циліндра;
- базисні розв'язки рівняння Ламе зовні циліндра;
- базисні розв'язки рівняння Ламе для шару;
- формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат;
- формули переходу базисних розв'язків від циліндричної системи координат до декартової;
- формули переходу базисних розв'язків від декартової системи координат до циліндричної;
- формули переходу базисних розв'язків від зсунутої циліндричної системи координат до декартової;

вміти :

- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для циліндру;
- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для півпростору;
- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для шару;
- застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової.
- створювати та розв'язувати систему нескінчених лінійних алгебраїчних рівнянь, застосовуючи метод редукції;
- проводити аналіз напружено-деформованого стану, робити висновки та рекомендації;

Міждисциплінарні зв'язки – в даній дисципліні продовжується вивчення міцності конструкцій, будівельної механіки, опору матеріалів, матеріалознавства та аеродинаміки, конструювання елементів та агрегатів АРКТ

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Циліндр, півпростір або шар з циліндричними порожнинами

Тема 1. Вступ.

Розклад у ряд. Інтеграл Фур'є.

Тема 2. Узагальнений метод Фур'є.

Рівняння Ламе в загальному вигляді. Рівняння Ламе для циліндру. Рівняння Ламе для труби. Рівняння Ламе для півпростору. Рівняння Ламе для шару. Узагальнений метод Фур'є.

Тема 3. Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами.

Друга основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами. Перша основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами.

Тема 4. Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами.

Друга основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами. Перша основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами.

Тема 5. Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами.

Друга основна задача теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами. Перша основна задача теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами.

Модульний контроль

Змістовий модуль 2. Циліндр, півпростір або шар з циліндричними включеннями

Тема 6. Умови спряження

Умови спряження плоских поверхонь. Умови спряження циліндричних поверхонь.

Тема 7. Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними включеннями.

Друга основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними повнотілими включеннями. Перша основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними повнотілими включеннями. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для циліндру з циліндричними повнотілими включеннями.

Тема 8. Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними включеннями.

Друга основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними повнотілими включеннями. Перша основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними повнотілими включеннями. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для півпростору з циліндричними повнотілими включеннями.

Тема 9. Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними включеннями.

Друга основна задача теорії пружності для шару з циліндричними повнотілими включеннями. Перша основна задача теорії пружності для шару з циліндричними повнотілими включеннями. Третя (мішана) основна задача теорії пружності для шару з циліндричними повнотілими включеннями.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовного модуля і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. Циліндр, півпростір або шар з циліндричними порожнинами					
Тема 1. <i>Вступ</i>	8	2	2		4
Тема 2. <i>Узагальнений метод Фур'є</i>	12	4	4		4
Тема 3. <i>Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами</i>	20	4	4		12
Тема 4. <i>Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами</i>	20	4	4		12
Тема 5. <i>Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами</i>	20	4	4		12
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	80	18	18		44
Змістовний модуль 2. Циліндр, півпростір або шар з циліндричними включеннями					
Тема 6. <i>Умови спряження</i>	10	4	4		2
Тема 7. <i>Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними включеннями</i>	20	4	4		12
Тема 8. <i>Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними включеннями</i>	20	4	4		12
Тема 9. <i>Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними включеннями</i>	20	4	4		12
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	70	16	16		38
Усього годин	150	34	34	-	82

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
	-	-

6. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Розклад у ряд. Інтеграл Фур'є.	2
2	Узагальнений метод Фур'є.	4
3	Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами	4
4	Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами	4
5	Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами	4
6	Умови спряження	4
7	Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними включеннями	4
8	Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними включеннями	4
9	Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними включеннями	4
	Разом	34

7. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
	<i>Не передбачено програмою</i>	

8. Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Розклад у ряд. Інтеграл Фур'є.	4
2	Узагальнений метод Фур'є.	4
3	Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними порожнинами	12
4	Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами	12
5	Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними порожнинами	12

6	Умови спряження	2
7	Постановка основних задач теорії пружності для циліндру з циліндричними включеннями	12
8	Постановка основних задач теорії пружності для півпростору з циліндричними включеннями	12
9	Постановка основних задач теорії пружності для шару з циліндричними включеннями	12
	Разом	82

9. Індивідуальні завдання

Не передбачено програмою

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних робіт, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота аспірантів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, усного опитування під час проведення практичних занять, фінальний контроль у вигляді іспиту

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують аспіранти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист практичних робіт	0...4	5	0...20
Модульний контроль	0...26	1	0...26
Усього за модуль 1			0...50
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист практичних робіт	0...4	5	0...20
Модульний контроль	0...26	1	0...26
Усього за модуль 2			0...50
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з чотирьох питань по 25 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки.

Знати:

- рівняння Ламе;
- базисні розв'язки рівняння Ламе для тіла циліндра;
- базисні розв'язки рівняння Ламе зовні циліндра;
- базисні розв'язки рівняння Ламе для шару;
- формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат;
- формули переходу базисних розв'язків від циліндричної системи координат до декартової;
- формули переходу базисних розв'язків від декартової системи координат до циліндричної;
- формули переходу базисних розв'язків від зсунутої циліндричної системи координат до декартової;

Вміти :

- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для циліндру;
- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для півпростору;
- створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для шару;
- застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової.
- створювати та розв'язувати систему нескінчених лінійних алгебраїчних рівнянь, застосовуючи метод редукції;
- проводити аналіз напружено-деформованого стану, робити висновки та рекомендації;

12.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Знати рівняння Ламе та базисні розв'язки для циліндру та шару. Вміти створювати постановку задач теорії пружності в переміщеннях, в напруженнях та мішаного типу для циліндру, півпростору та шару.

Добре (75-89). Засвоїти мінімум знань та умінь, виконати усі завдання, захищати всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням прийнятих рішень. Знати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, формули переходу базисних розв'язків від циліндричної системи координат до

декартової та формули переходу базисних розв'язків від декартової системи координат до циліндричної. Вміти: застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової, створювати та розв'язувати систему нескінчених лінійних алгебраїчних рівнянь, застосовуючи метод редукції.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

13. Методичне забезпечення

1. Мірошніков В. Ю., Савін О. Б., Соболев В. М. Розрахунок літального апарата на міцність. - Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2023. – 44 с.

2. Мірошніков В.Ю., Савін О.Б., Соболев В.М. Навантаження на літальний апарат у розрахункових режимах: Навчальний посібник – Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2023. – 122 с.

3. Мірошніков В. Ю., Савін О. Б., Соболев В. М. Проектувальний розрахунок стиснутого відсіку корпусу літального апарата. – Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2023. – 31 с.

4. Дібір О. Г., Кирпикін А. О. Дослідження дискретної моделі лонжерона та комбінованих стрижневих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. / – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац.ін-т», 2019. – 88 с.

5. Дібір О. Г. Будівельна механіка авіаційних конструкцій: навч. посіб. В 2 ч. Ч. 2 : Розрахунок тонкостінних стрижнів. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 280 с.

6. Николаев А. Г., Проценко В. С. (2011). Обобщенный метод Фурье в пространственных задачах теории упругости. Харьков: Нац. аерокосм

інніверситет ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ». 344 с.

7. Карпов Я.С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов. - Х.:Нац. аэрокосм, ун-т „Харьк.авиацин-т”,2006. - 359 с.

14. Рекомендована література

Базова

1. Aitharaju, V.; Aashat, S.; Kia, H.; Satyanarayana, A.; Bogert, P. Progressive Damage Modeling of Notched Composites. NASA Technical Reports Server. 2016. Available online: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160012242.pdf> (accessed on 16.04.2024).
2. Kondratiev, A.V., Gaidachuk, V.E. & Kharchenko, M.E. Relationships Between the Ultimate Strengths of Polymer Composites in Static Bending, Compression, and Tension. Mech Compos Mater 55, 259–266 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11029-019-09808-x>
3. Tekkaya, A.E., Soyarslan, C.: Finite Element Method. Encyclopedia of Production Engineering. Berlin: Springer, 508–514 (2014).
4. Static Structural Simulation Using Ansys Discovery. Available online: <https://courses.ansys.com/index.php/courses/structural-simulation> (accessed on 16.04.2024).
5. Zasovenko, A., Fasoliak, A.: Mathematical modeling of the dynamics of an elastic half-medium with a cylindrical cavity reinforced by a shell under axisymmetric loads. New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering, vol. 2, pp.67–73 (2023).
6. MSC.PATRAN 2012.2 Release Guide
7. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1980. – 420 с.
8. Каравацький А.Я. Метод скінчених елементів у задачах механіки суцільних середовищ [Текст]/ А.Я. Каравацький – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 387с.
9. Мірошніков, В. Ю. Третя основна задача теорії пружності в просторі з N паралельними круговими циліндричними порожнинами [Текст]: В. Ю. Мірошніков. – Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. –2017. – Вып. 2 (90). – С. 89 – 103
10. Miroshnikov V. Yu., Medvedeva A. V., Oleshkevich S. V. Torsion of cylindrical cavity in a half-space. The Monograph: The scientific and methodological support of modern educational process at the technical university. Warsaw, 2019. – 298p.
11. Protsenko V., Miroshnikov V. Investigating a problem from the theory of elasticity for a half-space with cylindrical cavities for which boundary conditions of contact type are assigned. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied mechanics. Kharkiv, 2018. Vol. 4, №7. P. 43 – 50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139567>

12. Miroshnikov, V. Yu., Medvedeva, A. V., Oleshkevich, S. V.: Determination of the Stress State of the Layer with a Cylindrical Elastic Inclusion. In: International Conference on Actual Problems of Engineering Mechanics, pp. 413-420. Materials Science Forum 968, Ukraine (2019). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.413>
13. Мірошніков В.Ю. Перша основна задача теорії пружності у півпросторі з декількома паралельними круговими циліндричними порожнинами. Проблеми машинобудування. Харків, 2018, Т. 21, № 2. С. 12-18.
14. Miroshnikov V. Yu. The study of the second main problem of the theory of elasticity for a layer with a cylindrical cavity. Strength of Materials and Theory of Structures. Kiev, 2019. №102. P. 77–90. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.77-90>

Допоміжна

1. Miroshnikov V. Yu. Stress State of an Elastic Layer with a Cylindrical Cavity on a Rigid Foundation. International Applied Mechanics. 2020. - 56, №3. - С.372-381. DOI: 10.1007/s10778-020-01021-x
2. Miroshnikov V. , Denysova T., Protsenko V. The study of the first main problem of the theory of elasticity for a layer with a cylindrical cavity. Strength of Materials and Theory of Structures. Kiev, 2019. №103. P. 208–218. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.103.208-218>
3. Мірошніков В.Ю., Олешкевич С. В., Савін О. Б., Медведєва А. В. Змішана задача теорії пружності для півпростору з циліндричними порожнинами та деякими крайовими умовами контактного типу. Науковий вісник будівництва. Харків, 2018. Т. 94, №4. С. 82–94. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-82-94
4. Miroshnikov, V. Investigation of the stress state of a composite in the form of a layer and a half space with a longitudinal cylindrical cavity at stresses given on boundary surfaces. Journal of Mechanical Engineering. Kharkiv, 2019. Vol. 22, N 4. P. 24-31. <https://doi.org/10.15407/pmach2019.04.024>
5. Miroshnikov V.Yu., Denisova T.V. Investigation of the second main problem of elasticity for a layer with n cylindrical inclusions // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and technical collected articles. - Kyiv: KNUBA, 2021. - Issue 106. - P. 156-166. DOI: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.156-166>
6. Miroshnikov, V., Savin, O., Younis, B., Nikichanov, V. (2022).Solution of the problem of the theory of elasticity and analysis of the stress state of a fibrous composite layer under the action of transverse compressive forces. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (7 (118)), 23–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263460>
7. Miroshnikov V., Younis B., Savin O., Sobol V. A linear elasticity theory to analyze the stress state of an infinite layer with a cylindrical cavity under periodic load. Computation, 2022, 10(9), 160. <https://doi.org/10.3390/computation10090160>

8. Молчанов, И.Н. Основы метода конечных элементов [Текст] / И.Н. Молчанов, Л.Д. Николенко. – К.: Наукова думка, 1989. – 270 с.
9. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия [Текст] / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
10. Тимошенко, С.П. Устойчивость упругих систем [Текст] / С.П. Тимошенко. – М.: Гостехиздат, 1955. – 92 с.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри k102.khai.edu