

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Володимир ПАВЛІКОВ

«___» _____ 2024 р.

Відділ аспірантури і докторантури

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Наукові методи визначення міцності літальних апаратів
(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)

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

Форма навчання: денна

Харків 2024

**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., 15с.

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., професор
(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 102

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	Галузь знань <u>13 Механічна інженерія</u> (шифр і найменування) Спеціальність <u>134 Авіаційна та ракето-космічна техніка</u> (код і найменування) Освітня програма <u>Авіаційна та ракето-космічна техніка</u> (найменування) Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)	Цикл професійної підготовки (за вибором)
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 3		2024/2025
Індивідуальне завдання:		Семестр
Загальна кількість годин –150 Кількість годин аудиторних занять/загальна кількість годин – 68/150		2-й
		Лекції*
		32
		Практичні, семінарські*
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи аспіранта – 5,1		32
		Лабораторні*
	-	
	Самостійна робота	
	86	
	Вид контролю	
	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 64/56.

*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 методи визначення міцності деталей та вузлів аерокосмічної техніки. Отримати необхідні навички про створення розрахункових моделей, можливості застосування різних методів визначення напружено-деформованого стану, аналіз отриманих результатів та створення висновків.

Завдання: набути навиків роботи з аналітико-числовими та числовими методами визначення напружено-деформованого стану, навчитися застосуванню сучасних програмних комплексів для цих цілей.

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.

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 методи визначення напружено-деформованого стану. Розуміння переваг, недоліків та обмежень аналітичних, аналітико-числових та числових методів.

Вміти створювати розрахункові моделі з реальної конструкції, спрощувати їх без втрати точності.

Вміти обирати метод розв'язання задачі в залежності від обраної моделі. Застосовувати ці методи у власних дослідженнях та у викладацькій практиці.

Володіти сучасними програмними комплексами, що реалізують ті чи інші методи розрахунку АРКТ та інших суміжних галузей.

Результати навчання.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

знати:

– функціональні простори при постановці змішаних завдань для циліндру та шару;

– факти з функціонального аналізу та математичної фізики;

– про розв'язність задачі в узагальнених розв'язках;

- єдиність розв'язку;
- про диференціальні властивості узагальнених розв'язків задач в ділянках, що не містять особливих точок границі;
- поведінку розв'язків задач на нескінченності;
- про розв'язність задач в узагальнених розв'язках;
- метод скінчених елементів;
- метод скінчених різниць;
- спектральний метод;
- дискретизацію;
- топологію 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів;
- властивості 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів
- особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції.
- обмеження аналітико-чисельних методів;
- рівняння Ламе для циліндру, труби, півпростору та шару;
- формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної, від циліндричної до декартової.

вміти :

- створювати постановку змішаних завдань для циліндру та шару
- проводити аналіз розв'язків задач на нескінченності, в околицях особливих множин границі;
- зводити задачі до інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду;
- знаходити розв'язність, єдиність, класи коректності;
- застосовувати метод скінчених елементів;
- застосовувати метод скінчених різниць;
- застосовувати спектральний метод та дискретизацію;
- використовувати спеціальні 0D, 1D скінчені елементи для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції;
- створювати розрахункові схеми авіаційних конструкцій, топологічну конгруентність геометрії;
- створювати скінчено-елементні моделі, її верифікувати;
- проводити процедуру статичного аналізу конструкції;
- відтворювати навантаження та закріплення моделі, створювати розрахункові випадки;
- застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової.

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. Аналітичні методи

Тема 1. Вступ. Постановка мішаних задач для циліндру та шару

Постановка змішаних завдань для циліндру та шару. Деякі функціональні простори. Деякі факти з функціонального аналізу та математичної фізики.

Тема 2. Дослідження змішаних задач для циліндру

Розв'язність задачі в узагальнених розв'язках. Єдиність розв'язку. Диференціальні властивості узагальнених розв'язків задач в ділянках, що не містять особливих точок границі. Поведінка розв'язків задачі на нескінченності. Подання розв'язків задач в околицях особливих множин границі. Зведення задач до інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду. Їх розв'язність, єдиність, класи коректності.

Тема 3. Дослідження змішаних задач для шару

Розв'язність задачі в узагальнених розв'язках. Єдиність розв'язку. Диференціальні властивості узагальнених розв'язків задач в областях, що не містять особливих множин межі. Поведінка розв'язків задачі на нескінченності. Зведення задач до інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду. Їх розв'язність, класи єдності.

Модульний контроль

Змістовний модуль 2. Числові методи

Тема 4. Види числових методів.

Метод скінчених елементів. Метод скінчених різниць. Спектральний метод. Дискретизація.

Тема 5. Метод скінчених елементів

Топологія 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів. Властивості 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів. Особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції.

Тема 6. Алгоритм створення моделі елементів авіаційних конструкцій

Розрахункові схеми авіаційних конструкцій, топологічна конгруентність геометрії. Створення скінчено-елементної моделі, її верифікація. Процедура статичного аналізу конструкції. Навантаження та закріплення моделі, створення розрахункових випадків. Засоби подання результатів статичних розрахунків авіаційних конструкцій.

Модульний контроль

Змістовний модуль 3. Аналітико-числові методи

Тема 7. Переваги та недоліки аналітико-числових методів

Обмеження. Розклад у ряд. Інтеграл Фур'є. Рівняння Ламе в загальному вигляді.

Тема 8. Узагальнений метод Фур'є. Базисні розв'язки.

Рівняння Ламе для циліндру. Рівняння Ламе для труби. Рівняння Ламе для півпростору. Рівняння Ламе для шару.

Тема 9. Формули переходу базисних розв'язків між системами координат.

Між локальними циліндричними системами координат. Від декартової до циліндричної. Від циліндричної до декартової.

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. Аналітичні методи					
Тема 1. Вступ. Постановка мішаних задач для циліндру та шару	12	4			8
Тема 2. Дослідження змішаних задач для циліндру	18	2	6		10
Тема 3. Дослідження змішаних задач для шару	20	2	6		12
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	50	8	12		30
Змістовний модуль 2. Числові методи					
Тема 4. Види числових методів	10	4			6
Тема 5. Метод скінчених елементів	20	4	4		12
Тема 6. Алгоритм створення моделі елементів авіаційних конструкцій	20	4	6		10
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	50	12	10		28
Змістовний модуль 3. Аналітико-числові методи					
Тема 7. Переваги та недоліки аналітико-числових методів	8	2			6
Тема 8. Узагальнений метод Фур'є. Базисні розв'язки	18	4	4		10
Тема 9. Формули переходу базисних розв'язків між системами координат.	24	6	6		12
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 3	50	12	10		28
Усього годин	150	32	32	-	86

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
	-	-

6. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження змішаних задач для циліндру	6
2	Дослідження змішаних задач для шару	6
3	Властивості 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів. Особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції.	4
4	Розрахункові схеми авіаційних конструкцій, топологічна конгруентність геометрії.	2
5	Створення скінчено-елементної моделі, її верифікація. Процедура статичного аналізу конструкції. Навантаження та закріплення моделі, створення розрахункових випадків.	2
6	Засоби подання результатів статичних розрахунків авіаційних конструкцій.	2
7	Рівняння Ламе для циліндру. Рівняння Ламе для труби.	2
8	Рівняння Ламе для півпростору. Рівняння Ламе для шару.	2
9	Формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат.	2
10	Формули переходу базисних розв'язків від декартової до циліндричної.	2
11	Формули переходу базисних розв'язків від циліндричної до декартової.	2
	Разом	32

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	Постановка змішаних завдань для циліндру та шару.	4
2	Деякі функціональні простори.	2
3	Деякі факти з функціонального аналізу та математичної фізики	2

4	Дослідження змішаних задач для циліндру	10
5	Дослідження змішаних задач для шару	12
6	Метод скінчених елементів.	2
7	Метод скінчених різниць.	2
8	Спектральний метод. Дискретизація.	2
9	Топологія 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів.	2
10	Властивості 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів.	4
12	Особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції.	6
13	Розрахункові схеми авіаційних конструкцій, топологічна конгруентність геометрії.	2
14	Створення скінчено-елементної моделі, її верифікація.	2
15	Процедура статичного аналізу конструкції. Навантаження та закріплення моделі, створення розрахункових випадків.	4
16	Засоби подання результатів статичних розрахунків авіаційних конструкцій.	2
17	Переваги та недоліки аналітико-числових методів	6
18	Рівняння Ламе для циліндру.	2
19	Рівняння Ламе для труби.	2
20	Рівняння Ламе для півпростору.	2
21	Рівняння Ламе для шару.	4
22	Формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат.	4
23	Формули переходу базисних розв'язків від декартової до циліндричної.	4
24	Формули переходу базисних розв'язків від циліндричної до декартової.	4
	Разом	86

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	4	0...16
Модульний контроль	0...10	1	0...10
Усього за модуль 1			0...30
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання і захист практичних робіт	0...4	3	0...12
Модульний контроль	0...12	1	0...12
Усього за модуль 2			0...30
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання і захист практичних робіт	0...4	4	0...16
Модульний контроль	0...18	1	0...18
Усього за модуль 3			0...40
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 двох питань по 30 балів за кожне та одного питання 40 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки.

Знати:

- функціональні простори при постановці змішаних завдань для циліндру та шару;
- факти з функціонального аналізу та математичної фізики;
- про розв'язність задачі в узагальнених розв'язках;
- єдиність розв'язку;
- про диференціальні властивості узагальнених розв'язків задач в ділянках, що не містять особливих точок границі;
- поведінку розв'язків задачі на нескінченності;
- про розв'язність задачі в узагальнених розв'язках;
- метод скінчених елементів;
- метод скінчених різниць;

- спектральний метод;
- дискретизацію;
- топологію 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів;
- властивості 0D, 1D, 2D та 3D скінчених елементів
- особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції.
- обмеження аналітико-чисельних методів;
- рівняння Ламе для циліндру, труби, півпростору та шару;
- формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної, від циліндричної до декартової.

Вміти :

- створювати постановку змішаних завдань для циліндру та шару
- проводити аналіз розв'язків задачі на нескінченності, в околицях особливих множин границі;
- зводити задачі до інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду;
- знаходити розв'язність, єдиність, класи коректності;
- застосовувати метод скінчених елементів;
- застосовувати метод скінчених різниць;
- застосовувати спектральний метод та дискретизацію;
- використовувати спеціальні 0D, 1D скінчені елементи для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції;
- створювати розрахункові схеми авіаційних конструкцій, топологічну конгруентність геометрії;
- створювати скінчено-елементні моделі, її верифікувати;
- проводити процедуру статичного аналізу конструкції;
- відтворювати навантаження та закріплення моделі, створювати розрахункові випадки;
- застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової.

12.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Знати функціональні простори при постановці змішаних завдань для циліндру та шару, факти з функціонального аналізу та математичної фізики, метод скінчених елементів, рівняння Ламе для циліндру, труби, півпростору та шару. Вміти створювати постановку змішаних завдань для циліндру та шару, вміти використовувати спеціальні 0D, 1D скінчені елементи для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції, проводити процедуру статичного аналізу конструкції.

Добре (75-89). Засвоїти мінімум знань та умінь, виконати усі завдання, захищати всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням прийнятих рішень. Знати про розв'язність задачі в узагальнених розв'язках, про єдиність розв'язку, поведінку розв'язків задачі на

нескінченності, метод скінченних різниць, особливості використання спеціальних 0D, 1D скінчених елементів для моделювання фізичних властивостей моделі конструкції, формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної, від циліндричної до декартової. Вміти: знаходити розв'язність, єдиність, класи коректності, створювати скінчено-елементні моделі, її верифікувати, застосовувати формули переходу базисних розв'язків між локальними циліндричними системами координат, від декартової до циліндричної та від циліндричної до декартової.

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. аэрокосм. университет им. Н.Е. Жуковского «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-Euro-pean 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