

Mathematical Problems of Technical Mechanics 2021

ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE
MPTM 2021
Part 1

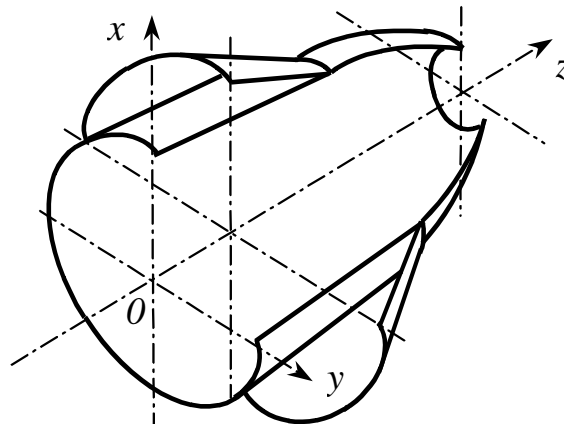
April 13 - 16, 2021
Dnipro, Kamianske, Ukraine

Book of Abstracts

МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021
МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



Матеріали конференції



Дніпро, Кам'янське – 2021

МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Крилова Т.В.

Співголова: Стеблянко П.О.

Учений секретар: Волосова Н.М.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Бабешко М.Є., Бабич С.Ю., Багно О.М., Булат А.Ф., Волосова Н.М., Гачкевич О.Р., Григоренко О.Я., Гудрамович В.С., Демічев К.Е., Дзюба А.П., Кирия Р.В., Галишин О.З., Карімов І.К., Кушнір Р.М., Ларіонов Г.І., Лобода В.В., Пилипенко О.В., Пошивалов В.П., Савченко В.Г., Тимошенко В.І., Черняков Ю.А.

Шановні колеги!

Наукова конференція МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ була започаткована у 2001 році. До 2004 року конференція мала статус Всеукраїнської наукової конференції, а з 2005 року вона проводиться, як Міжнародна наукова конференція. За ці роки (2001-2021 рр) основними учасниками конференції МПТМ були науковці:

- Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України;
- Дніпровського національного університету ім.О. Гончара;
- Дніпровського державного технічного університету;
- Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України;
- Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України.

Хочеться побажати всім учасникам міжнародної наукової конференції *Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики* натхненної та плідної праці і творчих успіхів.

Доктор фізико-математичних наук, професор Стеблянко П.О.

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021”

1. МЕХАНІКА ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА, МЕХАНІКА РІДИНИ, ГАЗУ ТА ПЛАЗМИ

ПІДКРІПЛЕННЯ ВИДОВЖЕНОГО ЕЛІПТИЧНОГО ОТВОРУ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД ДІЄЮ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ

Гудрамович В. С.¹, Гарт Е. Л.², Марченко О. А.²

¹*Інститут технічної механіки НАН України
та Державного космічного агентства України*

²*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

Несівна здатність основних елементів багатьох конструкцій, в тому числі пластинчато-оболонкових, зазвичай визначається напруженим станом і умовами міцності в місцях концентрації, оскільки саме там перш за все настає граничний стан і руйнування. Вивченню проблеми концентрації напружень присвячено багато робіт зарубіжних і вітчизняних вчених [1, 2]. Це пов'язано з актуальністю проблеми в науковому та практичному відношеннях, її багатоплановістю і складністю, тому багато важливих її аспектів досі ще не мають вичерпного рішення.

Розрахунок концентрації напружень часто проводять методами теорії пружності з використанням апарату конформного відображення і теорії аналітичних функцій [3]. Однак більш широке застосування для обчислення теоретичного і ефективного коефіцієнтів концентрації напружень останнім часом отримали числові методи теорії пружності, що дозволяють досить ефективно розв'язувати задачі розрахунку концентрації напружень і деформацій в елементах конструкцій [4, 5].

Пошук шляхів зниження концентрації напружень відноситься до однієї з важливих і актуальних проблем механіки деформованого твердого тіла. Одним із варіантів вирішення зазначеної проблеми для тонкостінних елементів конструкцій, ослаблених отворами, є використання підкріплень отворів у вигляді включень з матеріалу, відмінного від матеріалу конструкції.

У даній роботі досліджено вплив підкріплювальних включень на напружено-деформований стан тонкостінної сферичної оболонки, послабленої видовженим еліптичним отвором, при використанні скінченноелементного аналізу.

Розглянуто сферичну оболонку радіусу R , товщини h , з еліптичним отвором (a – більша піввісь, b – менша піввісь). Оболонка зазнає дії внутрішнього рівномірного тиску інтенсивності $p = \text{const}$ (рис. 1).

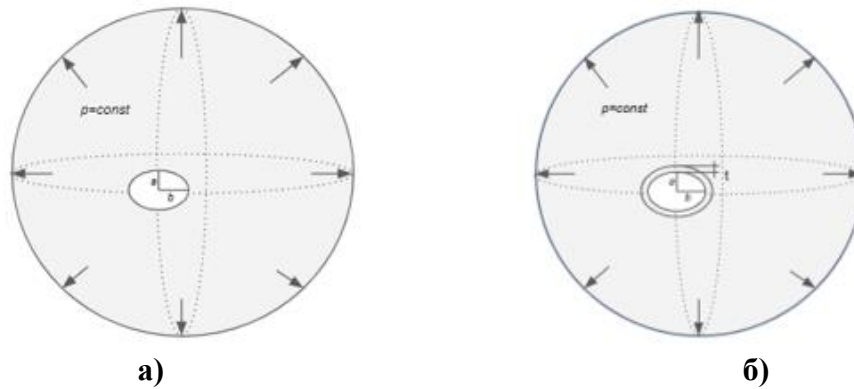


Рис. 1 – Геометрія та схема навантаження оболонки з еліптичним отвором:
а) без включення; б) зі стрічковим включенням

Отвір підкріплюється стрічковим включенням ширини t , яке має більш жорсткі механічні властивості, ніж матеріал оболонки. Підкріплювальний елемент (включення) розташовується у площині оболонки, тобто його товщина співпадає з товщиною оболонки. На границях включення задано умови жорсткого зчеплення.

Результати числового аналізу отримані для оболонки з такими параметрами: $R=2m$, $h=0,001R$, $b=0,05R$. Для визначеності в розрахунках матеріал оболонки має наступні характеристики: $E_1=110$ ГПа, $\mu_1=0,32$, $\sigma_B = 400$ МПа, $\sigma_{0,2}=280$ МПа. Матеріал включення: $E_2=210$ ГПа, $\mu_2=0,3$, $\sigma_B=630$ МПа, $\sigma_{0,2}=375$ МПа [1]. Вибір матеріалів носить умовний характер. Внутрішній тиск $p=10$ МПа.

Дослідження впливу видовженості отвору на напружено-деформований стан оболонки проведено для чотирьох варіантів отворів з таким співвідношенням піввісей: $a/b = 1,5; 2; 2,5; 3$ (табл. 1). Вплив підкріплювального включення досліджено для отвору $a/b = 3$ з наступними варіаціями ширини: $t = 0,1b; 0,2b; 0,3b; 0,4b; 0,5b$ (табл. 2).

При побудові скінченноелементної моделі було використано локально подрібнену сітку в околі отвору. Для апробації цієї комп'ютерної моделі було вибрано оболонку з еліптичним отвором при співвідношенні його піввісей $a/b=1,5$. Порівняння проведено з аналітичним розв'язком для модельної задачі [2]. Отримані результати ККН числового розв'язку збігаються з аналітичним.

Таблиця 1– Коефіцієнт концентрації напружень та максимальні значення інтенсивностей напружень і деформацій для різних розмірів еліптичних отворів

a/b	1,5	2,0	2,5	3,0
ККН	10	23	44	72
σ_i^{\max} , МПа	500	1100	2200	3600
ε_i^{\max}	0,005	0,01	0,02	0,03

З даних табл. 1 випливає, що при збільшенні видовженості отвору спостерігається збільшення інтенсивності напружень та деформацій. Розподіл інтенсивностей напружень σ_i та деформацій ε_i уздовж 1/4 меридіана оболонки в залежності від видовженості отвору наведено на рис. 2. У випадку найбільш витягнутого із розглянутих варіантів отворів ($a/b = 3,0$) ККН становить 72.

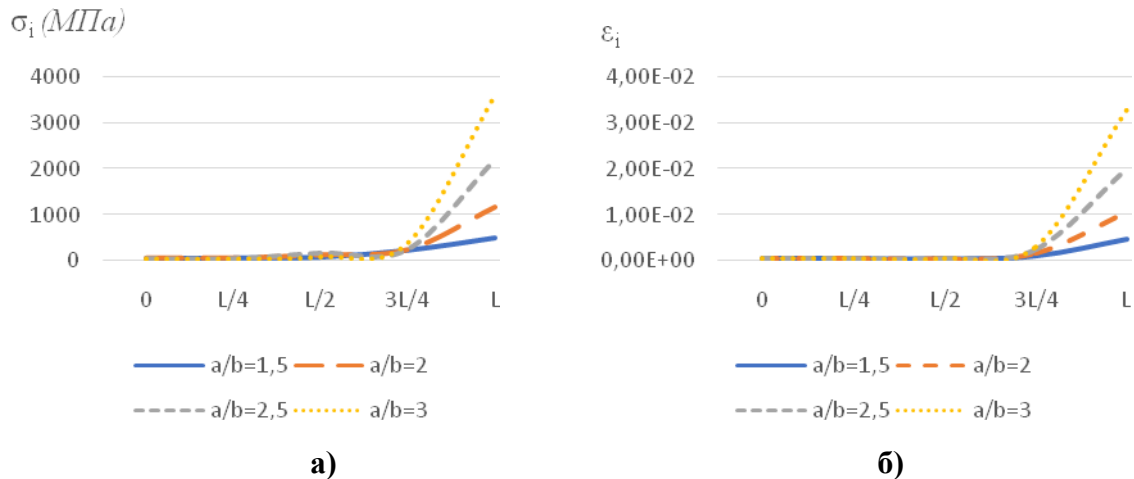


Рис. 2 – Розподіл інтенсивностей напружень σ_i (МПа) (а) та деформацій ε_i (б) уздовж 1/4 меридіана оболонки в залежності від видовженості отвору

При застосуванні підкріплювального, більш жорсткого, ніж основний матеріал оболонки, стрічкового включення навколо еліптичного отвору спостерігається збільшення інтенсивності напружень та одночасне зменшення інтенсивності деформацій (табл. 2). Використання включення ширини $t=0,1b$ призводить до збільшення інтенсивності напружень на $\sim 46\%$, та зменшення інтенсивності деформацій на $\sim 21\%$. В разі застосування включення ширини $t=0,5b$ зафіксовано збільшення інтенсивності напружень на $\sim 28\%$, та зменшення інтенсивності деформацій на $\sim 31\%$. Розподіл інтенсивностей напружень та деформацій зображено на рис. 3.

Таблиця 2– Коефіцієнт концентрації напружень та відхилення максимальних значень інтенсивностей напружень і деформацій для різних розмірів включень у порівнянні з оболонкою без підкріплення

t	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
ККН	106	97	95	93	91
$\Delta\sigma_i, \%$	$\uparrow 45,5$	$\uparrow 32,5$	$\uparrow 32$	$\uparrow 28$	$\uparrow 27,7$
$\Delta\varepsilon_i, \%$	$\downarrow 20,5$	$\downarrow 27,5$	$\downarrow 28$	$\downarrow 30$	$\downarrow 30,5$

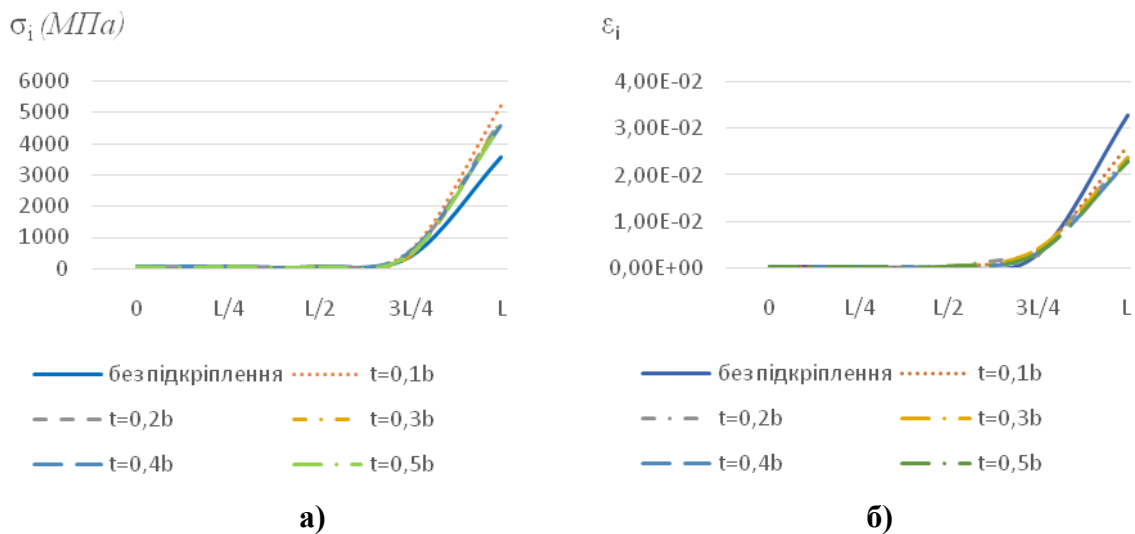


Рис. 3 – Розподіл інтенсивностей напружень σ_i (МПа) (а) та деформацій ε_i (б) уздовж 1/4 меридіана оболонки в залежності від ширини включення

Таким чином, в результаті проведеного комп'ютерного моделювання встановлено, що підкріплювальні включення значно впливають на параметри НДС оболонки з отвором в зонах концентрації напружень. Наявність більш жорсткого, ніж основний матеріал оболонки, підкріплення дає змогу зменшити інтенсивність деформацій навколо отвору на ~30%. Концентрація параметрів НДС в значній мірі залежить від ступеня видовженості еліптичного отвору: чим більше співвідношення піввісей отвору, тим більше значення коефіцієнту концентрації напружень.

Результати досліджень можуть бути корисні при проектуванні та оптимізації типових елементів конструкцій сучасних галузей техніки, зокрема, ракетно-космічної.

Література

1. *Арзамасов Б. Н., Соловьева Т. В., Герасимов С. А.* Справочник по конструкционным материалам. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 640 с.
2. *Гузь А. Н., Чернышенко И. С., Чехов Вал. Н. и др.* Методы расчета оболочек. В 5 т. Т. 1. Теория оболочек, ослабленных отверстиями. К. : Наук. думка, 1980. 636 с.
3. *Савин Г. Н.* Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наук. думка, 1968. – 888 с.
4. *Hart E. L., Hudramovich V. S.* Projection-iterative schemes for the implementation of variational-grid methods in the problems of elastoplastic deformation of inhomogeneous thin-walled structures // J. Math. Sci. – 2021. – Vol. 254, No. 1. – P. 21–38.
5. *Hudramovich V. S., Hart E. L., Marchenko O. A.* Reinforcing inclusion effect on the stress concentration within the spherical shell having an elliptical opening under uniform internal pressure // Strength of Materials. – 2021. – Vol. 52, No. 6. – С. 832–842. DOI: 10.1007/s11223-021-00237-7

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ ДЕБІТУ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ДЕГАЗАЦІЙНИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Круковський О.П., Дудник М.М., Веретенник В.М., Крицький В.Є.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Проблема ефективного функціонування дегазаційної системи на разі посідає одно з перших місць у діяльності вугільних шахт небезпечних за газовим фактором, оскільки дегазацією забезпечується зменшення газовиділення в гірничі виробки. Вирішити проблему лише за умов якомога більшого відсмоктування та ефективного відводу метану з масиву на практиці не вдається. Вакуум-насоси працюють, як правило, на повну потужність, але ефективність відводу та транспортування газу залишається незадовільним з різних причин. Це втрата герметичності на дільничних чи магістральних трубопроводах, або закупорка їх водою та/або пилом, які раптово трапляються при експлуатації і які важко виявити та своєчасно усунути. Це також незадовільний контроль за рухом газової суміші розподілом між свердловинами, що відсмоктують газ разом з повітрям. У результаті, концентрація метану з утилізованої метаноповітряної суміші дегазаційних систем складає біля 25 % і лише інколи досягає 60%. Собівартість каптованого метану значно зростає і зараз на 30 – 40 % перевищує вартість природнього газу. По цим причинам в Україні промислове використання шахтного утилізованого газу не перевищує 9 % загальної кількості його видобутку, а решта просто викидається у

довкілля [1]. Але відомо, що при застосуванні сучасних технологій видобутку, його собівартість може бути в 2 – 3 рази нижче вартості природного газу.

Галузевим Стандартом Мінпаливенерго України [2] передбачено контролювати дебіт в трубопроводах на замірних станціях, на яких встановлюють діафрагми з каліброваними кромками що звужують перетин потоку. Це дозволяє по втратам тиску на діафрагмі за допомогою чисельних поправочних коефіцієнтів визначати дебіт газової суміші. При цьому поправочні коефіцієнти необхідно корегувати в залежності від щільності, в'язкості потоку та характеру потоку. По суті галузевим Стандартом рекомендується застосовувати таку саму методику визначення дебіту газу, що використовується на поверхні для транспортування газу по магістральним трубопроводам на велику відстань та під великим тиском. Ця методика застосовується успішно лише за умови, що транспортуємі газ очищений, він має строго нормований склад домішок, вміст вологості та має контрольовані фізичні параметри потоку. Але в шахтних умовах, каптований газ, що надходить з гірського масиву, містить невизначений склад газів, вологи та пилу, має ненормовані фізичні параметри тиску, швидкості та температури потоку. Крім цього, бистра втрата метрологічних властивостей кромки діафрагми під впливом руху абразивних частинок, налипання пилу та забрудненості діафрагми роблять вимірювання зовсім малонадійними і недостовірними.

Література

1. Булат, А.Ф. Совершенствование функционирования угольных шахт: вентиляция, кондиционирование, дегазация, экология: Монография / А.Ф. Булат, Бунько Т.В., Бокий Б.В., Яценко И.А., Алабьев В.Р., Бокий А.Б., Жалилов А.Ш., Новиков Л.А., Дудник М.М., И.Е. Кокоулин. – Дніпро: Журфонд, 2018.- 443 с.
2. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Стандарт Минтопэнерго Украины СОУ 10.1.00174088.001. - Киев, 2004. - 161 с.

ЧАСТКОВО ЕЛЕКТРОДОВАНА ТРІЩИНА МІЖ ДВОМА РІЗНИМИ П'ЕЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ КВАЗІКРИСТАЛІЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Говоруха В. Б. , Шевельова А. Є., Шуо Чжао

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Хебейський науково-технічний університет, Китай*

Інтелектуальні матеріали, активно використовуються у найбільш наукомістких галузях промисловості та відіграють визначальну роль при створенні конкурентоспроможних видів техніки. До таких матеріалів відносяться п'єзоелектричні, п'єзоелектромагнітні, а також порівняно новий вид матеріалів, що називається квазікристалами, які також можуть мати п'єзовластивості. Але вказані матеріали є схильними до крихкого руйнування, яке, як правило, спричиняється дефектами на межі поділу різних компонент, серед яких найбільш небезпечними є дефекти типу тріщин, електродів і т.д. Для вказаних дефектів отримана досить велика кількість результатів, в тому числі аналітичних, але при умові, що на берегах задані однакові граничні умови. В той же час в ряді практично важливих випадків електричні або магнітні умови на різних частинах берегів тріщин у квазікристалічному

п'єзоелектричному композиті можуть відрізнитись між собою. Розв'язки такого роду задач авторам невідомі. Особливо це стосується тріщин та електродів, що знаходяться на межі поділу різних складових композита.

У даній роботі проаналізовано частково електродована тріщина між двома різними п'єзоелектричними квазікристалічними матеріалами під дією антиплоских механічних та плоских електричних навантажень. Граничні умови на берегах тріщини такі, що в центральній частині на берегах тріщини розташовані електроди, а біля вершин мають місце умови електричної проникності. Тобто, ці умови мають вигляд

$$\sigma_{23}^{(1)}(x_1, 0) = H_{23}^{(1)}(x_1, 0) = E_1^{(1)}(x_1, 0) = 0, \quad x_1 \in (a_1, a_2); \quad (1)$$

$$\sigma_{23}^{(1)}(x_1, 0) = H_{23}^{(1)}(x_1, 0) = 0, \quad \langle E_1(x_1, 0) \rangle = 0, \quad \langle D_2(x_1, 0) \rangle = 0, \quad x_1 \in (b_1, a_1) \cup (a_2, b_2); \quad (2)$$

$$\langle \sigma_{23} \rangle = 0, \quad \langle H_{23} \rangle = 0, \quad \langle D_2 \rangle = 0, \quad \langle u'_3 \rangle = 0, \quad \langle E_1 \rangle = 0, \quad \langle w'_3 \rangle = 0, \quad x_1 \notin (b_1, b_2), \quad (3)$$

де σ_{3i} - компоненти фонон напруження; H_{3i} - компоненти фазон напруження; E_1 , D_2 - електричне поле та електричне зміщення, $\langle \rangle$ - означає стрибок функції при переході через межу поділу матеріалів; (b_1, b_2) - координати вершин тріщини, (a_1, a_2) - координати границь електродованої частини берегів тріщини. Такі граничні умови можуть мати місце, якщо електрод між двома п'єзоелектричними квазікристалами розшарувався разом з сусідніми частинами оточуючого його інтерфейсу.

Побудовані спеціальні подання механічних та електричних компонент поля через секційно-аналітичні вектор-функції. На основі цих подань сформульовано однорідну комбіновану крайову задачу Діріхле – Рімана, яка включає умови Рімана на електроді і умови Діріхле на електропроникних частинах берегів тріщини. Отриманий аналітичний розв'язок цієї проблеми. Виведено аналітичні вирази для фонон та фазон напружень зсуву та відкриття тріщини, електричного поля, а також для стрибка електричного зміщення берегів тріщини. Визначено також коефіцієнти напруженості напружень та електричного поля. Продемонстровано залежності згаданих величин від величини зовнішнього електричного навантаження та різних співвідношень між електропровідною та електропроникною зонами берегів тріщини.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АПРОКСИМАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДИСКРЕТНИМИ РЯДАМИ ФУР'Є ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕТОНКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ІЗ ВМ'ЯТИНОЮ

Григоренко Я.М. ¹, Рожок Л.С. ²

¹ *Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України*

² *Національний транспортний університет МОН України*

Елементи конструкцій у вигляді циліндричних оболонок різної товщини кругового та некругового поперечного перерізу знаходять своє застосування в будівництві споруд, авіабудуванні, машинобудуванні, у трубопровідній промисловості, медицині та ін. Для забезпечення міцності та надійності експлуатації таких конструкцій, необхідно визначати їх напружено-деформований стан. При виготовленні циліндричних оболонок з круговим поперечним перерізом, або внаслідок їх експлуатації, можуть мати місце певні відхилення від кругової форми. У випадку незначних періодичних відхилень від кругової форми вздовж колової координати, розрахунки напружено-деформованого стану можна здійснити на основі методів теорії збурень [1]. В даній роботі в просторовій постановці за певних граничних умов на

торцях, із застосуванням методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є [2], розв'язано задачу про напружено-деформований стан нетонких шаруватих неоднорідних циліндричних оболонок при дії зовнішнього навантаження з круговим поперечним перерізом, що має вм'ятину в околі одного з кінців діаметра. Поперечний переріз оболонок описано рівнянням равліка Паскаля [3].

Методика розв'язування задач на основі методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є поєднує аналітичні та чисельні методи розв'язування крайових задач і складається з таких етапів: відокремлення змінних вздовж твірної оболонки; введення доповняльних функцій, відокремлення змінних вздовж напрямної оболонки; чисельне розв'язання одномірної крайової задачі для системи звичайних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами, стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації. На кожному кроці інтегрування здійснюється апроксимація доповняльних функцій, заданих таблицею значень, дискретними рядами Фур'є. Застосування методу апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є дає змогу отримати розв'язок задачі з достатнім ступенем точності за рахунок варіації кількості точок табличних значень доповняльних функцій та кількості утримуваних членів дискретного ряду Фур'є [4]. Проведено порівняльний аналіз характеристик напружено-деформованого стану оболонок із вм'ятиною та оболонок кругового поперечного перерізу рівного периметру.

Література

1. Немиш Ю.Н., Блошко Н.М. Напряженное состояние упругих цилиндров с выточками. Киев: Наук. думка (1987)
2. Григоренко Я.М., Рожок Л.С. : Применение дискретных рядов Фурье к решению задач о напряженном состоянии полых цилиндров с некруговым поперечным сечением. Прикл. механика. **50** (2), 3 – 26 (2014)
3. Савелов А.А. Плоские кривые. Систематика, свойства, применение (Справочное руководство). – Москва: Физматгиз (1987)
4. Григоренко Я.М., Рожок Л.С. : Про рівновагу нетонких циліндричних оболонок із вм'ятиною. Мат. методи та фіз.-мех. поля. **62** (2), 72 – 82 (2020).

РОЗРАХУНОК ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ КВАДРАТНИХ ПЛАСТИН З УСІЧЕНИМИ КУТАМИ

Григоренко О.Я.¹, Борисенко М.Ю.¹, Бойчук О.В.², Васильєва Л.Я.³

¹*Ин-т механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України, Київ,*

²*Миколаївський нац. аграрний ун-т, Миколаїв,*

³*Миколаївський нац. ун-т ім. В.О. Сухомлинського, Миколаїв.*

В сучасному виробництві та будівництві широко використовуються пластини різної складної форми з різними способами їх закріплення. При проектуванні таких елементів необхідно володіти інформацією про їхні динамічні характеристики, оскільки такі конструкції часто піддаються динамічним навантаженням різного характеру, що може спричинити руйнування конструкції в результаті резонансу, тому розрахунок частот і форм вільних коливань є актуальною проблемою. При дослідженні цієї проблеми в світовій літературі широко розглянуті пластини правильної форми, серед яких переважають прямокутні та круглі пластини. В свою чергу пластини складної форми розглянуті не так широко. В [1] запропоновано підхід, який розширює

можливості розв'язування задач про напружено-деформований стан чотирикутних пластин складної форми на основі застосування методу сплайн-колокації і дискретної ортогоналізації. В [2] розглядається задача про нелінійні вільні коливання композитних багат шарових пластин складної форми, при різних способах закріплення.

Метою цього повідомлення є визначення за допомогою методу скінченних елементів, реалізованого на ліцензійному програмному комплексі FEMAP з розв'язувачем NX Nastran, частот та форм вільних коливань ізотропних усічених чотирикутних пластин з вільними краями та порівняння частот з частотами неусіченої квадратної пластини. Запропонований підхід апробовано в [3].

За допомогою FEMAP побудована геометрія квадратної пластини зі стороною $a = 240$ мм постійної товщини $d = 4$ мм. Різні комбінації кутів пластини були усічені квадратом стороною $b = 60$ мм. В якості ізотропного матеріалу обирався алюміній (модуль Юнга $E = 71$ ГПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, густина $\rho = 2710$ кг / м³).

В результаті дослідження отримані частоти та форми вільних коливань розглянутих пластин, на рис. 1 представлено першу частоту і форму вільних коливань досліджуваних пластин.

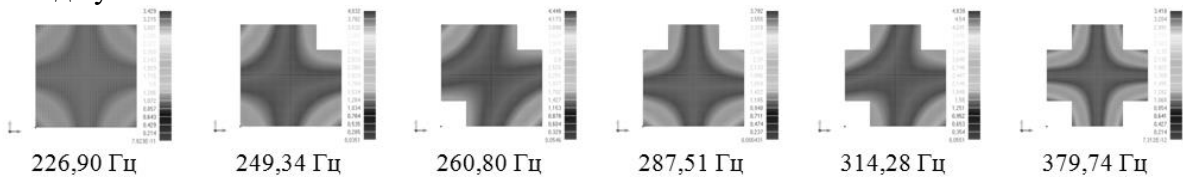


Рис. 1. Перша частота та форми вільних коливань розглянутих пластин

Література

1. Григоренко А.Я. Решение задач о напряженно-деформированном состоянии пластин сложной формы в уточненной постановке / А.Я. Григоренко, С.А. Панкратьев, С.Н. Яремченко // Прикл. механика, 2017, 53(3), с.104-112.
2. Курпа Л.В. Применение теории R-функций к исследованию нелинейных колебаний композитных пластин сложной формы / Л.В. Курпа, Г.Н. Тимченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин, 2006, 1.21, с. 113-118.
3. Borysenko M. Numerical analysis of frequencies and forms of own collars of different forms with free zone / M. Borysenko, A. Zavhorodnii, R. Skupskyi // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 2019. – Vol.18, №1, – P. 5-13.

НЕОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЗАЛЕЖНОСТІ НЕЛІНІЙНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ МІЖ ПЕРШИМИ ІНВАРІАНТАМИ ТЕНЗОРІВ І ДРУГИМИ ІНВАРІАНТАМИ ДЕВІАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ВІД ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

Бабешко М.О., Савченко В.Г.

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАНУ

Дана постановка та описано алгоритм розв'язування неосесиметричної задачі термопластичності для тонкостінних оболонок обертання з ізотропного матеріалу, властивості якого залежать від виду напруженого стану. Використано визначальні рівняння, що описують процеси деформування матеріалу вздовж траєкторій малої кривизни з урахуванням впливу параметрів виду напруженого стану на його

властивості за межами пружності. До складу визначальних рівнянь входять дві залежності, які конкретизуються за даними експериментів на розтяг, стиск та кручення або на розтяг та внутрішній тиск трубчатих зразків при пропорційному навантаженні при кількох різних значеннях кута виду напруженого стану та температури. Одна з цих залежностей здійснює зв'язок між першими інваріантами тензорів напружень та деформацій, температурою та кутом виду напруженого стану, а друга - другими інваріантами відповідних девіаторів і температурою та кутом виду напруженого стану. Нелінійні визначальні рівняння лінеаризовано методом додаткових напружень. На основі цих визначальних рівнянь описано методику та розроблено алгоритм чисельного дослідження напружено-деформованого стану тонких оболонок обертання в процесах неосесиметричного термосилового навантаження. Задача розв'язується поетапно в процесі послідовних наближень в рамках малих деформацій з використанням гіпотез Кірхгофа – Лява. Використано розкладення навантажень та невідомих функцій в тригонометричні ряди по коловій координаті. Сформульовано системи розв'язувальних рівнянь для знаходження коефіцієнтів тригонометричних рядів невідомих функцій; праві частини рівнянь визначаються з використанням значень компонентів напружено-деформованого стану, одержаних на попередньому наближенні. В кожному наближенні задача теорії оболонок зводиться до рішення крайової задачі для систем вісьми звичайних диференціальних рівнянь, з використанням методу Рунге – Кутта з дискретною ортогоналізацією. Кількість систем визначається кількістю утриманих членів тригонометричних рядів. Системи розв'язувальних рівнянь аналогічні тим, які одержано при використанні традиційної теорії процесів малої кривизни [1, 2], але відрізняються конкретизацією їх правих частин, які в даному випадку визначаються з використанням двох вищезгаданих нелінійних залежностей між інваріантами напружено-деформованого стану, температурою та кутом виду напруженого стану. Одержано числові результати. На конкретних прикладах показано, що урахування виду напруженого стану значно вплинуло на результати розрахунків.

Література

1. Shevchenko Yu.N., Savchenko V.G. Three-Dimensional Problems of Thermoviscoplasticity: Focus on Ukrainian Research (Review) // Int. Appl. Mech. – 2016. – 52, N3. – P. 217 – 271.
2. Шевченко Ю.Н., Прохоренко И.В. Теория упругопластических оболочек при неизотермических процессах нагружения. В 5-ти т. Т.3. – К.: Наук. думка, 1981. - 296с.

LIQUID FREE SURFACE BEHAVIOR IN CYLINDRICAL TANK UNDER HORIZONTAL HARMONIC LOADS

Myronenko M. L. ^{1,2}

¹*A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the Ukrainian Academy of Sciences*

²*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

Fluid oscillation problems in partially filled tanks need be solved numerically in a lot of practical applications. The problem relates to space programs, as well as to other industries. In this article, a technique has been developed for studying the behaviour of the liquid free surface under horizontal harmonic loads. A cylindrical shell of revolution, partially filled with a homogeneous and incompressible fluid is considered, the fluid flow is

supposed to be vortex-free. The relation between gravity and surface tension force is determined by the Bond number. In this paper, the modes and frequencies of fluid oscillations at overloads and at low gravity are analyzed with usage of numerical simulation.

One of the challenging tasks, that space rocket scientists have been faced, consists in simulating the launch vehicle longitudinal oscillations. This can lead to significant loads on the structure, violation of its integrity and, as a consequence, to longitudinal instability and accidents. Therefore, the study of this issue is relevant and necessary.

The purpose of this work is to create a technique for studying the behaviour of the free surface at different Bond's numbers.

This paper is devoted to simulating the liquid component oscillations in oxidizer tanks, which are rigid cylindrical shells of height H and radius R , partially filled with liquid to height H_1 with wetted surface S_1 and free surface S_0 .

We suppose that the homogeneous, incompressible liquid is under the action of gravity, its flow is irrotational with a velocity potential $V = grad\phi$ that satisfies the Laplace equation. The surface tension forces on the free liquid surface S_0 , and the gravity forces that are predominant in this problem, are expressed in the ratio characterized by the Bond number Bo . The dynamic and kinematic free-surface boundary conditions are recorded. In this study, we analyze the oscillation frequency and vibration mode of fluid oscillations under accelerative forces conditions, when the gravity force has acceleration αg with the coefficient $\alpha \geq 1$. In study [1], the corresponding boundary-value solutions were obtained. The amplitudes of liquid free surface oscillations are determined depending on the frequency of the perturbing force. Thus, the developed technique allows us to study the behaviour of the free liquid surface at different parameters of the horizontal harmonic load. The technique allows us to investigate the behaviour of the free surface at different Bond numbers, both under overloads and at low gravity.

References

1. Myronenko M.L., Hnitko V.I., & Dehtiarov K. H. Method of discrete singularities in problems of filler vibrations in fuel tanks under overloads and at low gravity. *Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems*, 2019, Vol. 41, P. 20-26. [in Ukrainian] URL: <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2019-41-02> (Last accessed: 26.03.2021).

ВПЛИВ ПРУЖНОСТІ В ОЦІНКАХ ЧАСТОТ ОБОЛОНКИ, ЗАПОВНЕНИХ РІДИНОЮ

Усатова О.О.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Коливання є одними з найбільш розповсюджених форм руху. Напруження при коливанні мають знакозмінний характер, тому вони може викликати «втомливість» матеріалу. Багато публікацій, присвячених модальному аналізу оболонок, наповнених рідиною, підтверджують, що найнижчими частотами є частоти плескання. Для оцінки ефектів еластичності стінок оболонки була розроблена математична модель, що базується на таких гіпотезах: рідина нестислива і невисока, рух рідини є безвихровим, враховуються лише незначні коливання пружних елементів [1].

Для спрощення розрахунків різних об'єктів на коливання, впроваджують поняття коливальної системи. Це дозволяє розглянути різні за природою (фізичні, механічні та ін.) коливання з однієї позиції та використовувати для вивчення єдину математичну систему. Для визначення реакції системи при динамічних навантаженнях, використовують два різних метода – детермінований та недетермінований метод. Вибір залежить від способів впливу та зміни навантаження. Коли зміни навантаження в часі відомі, тоді це називають детермінованим навантаженням. При такому навантаженні, зазвичай можна встановити зміни переміщення коливальної системи в часі, відносно зі зміною навантаження. Інші параметри, як напруження, деформація, внутрішні зусилля та ін., можуть бути визначеними на іншому етапі розрахунку, за результатом розрахунку переміщення. Динамічні навантаження можуть бути і комбінованими [2]. Для тонких конструкцій основна частота плескання перестає бути найнижчою. Це явище має велике значення, коли на елементи конструкції, що взаємодіють з рідиною, застосовується зв'язане поздовжньо-поперечне навантаження, оскільки це буде причиною появи додаткових резонансів [3].

Література

1. Ventsel, E., Naumenko, V., Strelnikova, E., Yeseleva, E., Free vibrations of shells of revolution filled with a fluid. Engineering analysis with boundary elements, 34, pp. 856-862, 2010. DOI: 10.1016/j.enganabound.2010.05.004
2. Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Ш17 Динамика и устойчивость сооружений: Учебное пособие. – 2-е перераб. изд. / Р.А. Шакирзянов, Ф.Р. Шакирзянов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015. – 120 с.
3. Gnitko, V., Degtyariv, K., Karaiev, A. and Strelnikova, E. Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity, WIT Transactions on Engineering Sciences, 122, WIT Press, pp.13-25, 2019. DOI: 10.2495/BE410021

МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОСТОРОВИХ НЕОСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ВРАХУВАННЯМ ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТА РОЗПУШЕННЯ МАТЕРІАЛУ

Бабешко М.О., Савченко В.Г.
Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАНУ

При розв'язанні задач пластичності, як правило, не враховують впливу характеру навантаження на механічні властивості матеріалів. Але існують ізотропні матеріали, в яких при розтягу, стиску і крученні властивості суттєво відрізняються вже при малих деформаціях. Така поведінка матеріалу описується з допомогою кута виду напруженого стану, який показує орієнтацію октаєдричного дотичного напруження в октаєдричній площині відносно напрямку проєкції на цю площину головної вісі, вздовж якої діє максимальне напруження [1]. Цей кут конкретизує напружений стан з точністю до значення величини середнього напруження. Тому поряд з кутом виду напруженого стану потрібно розглядати середнє напруження і враховувати залежність форми поверхні навантаження від першого інваріанта тензора та другого і третього інваріанта девіатора напружень. Залежність поверхні навантаження від першого інваріанта

тензора напружень і виникаюча при цьому пластична зміна об'єму (розпушення) матеріалу вперше розглядалась в роботі [2]. В доповіді пропонується методика дослідження напруженого стану осесиметричних тіл в процесах складного неізотермічного неосесиметричного навантаження, яка дозволяє врахувати вид напруженого стану та розпушення матеріалу. Методика побудована на використанні експериментально обґрунтованих визначальних рівнянь, які описують процеси непружного деформування ізотропних матеріалів вздовж траєкторій малої кривизни. Тензор деформацій записується у вигляді суми тензорів пружної і пластичної деформацій. Параметри цих рівнянь конкретизуються на основі експериментів на трубчатих зразках: на розтяг, стиск та кручення або на розтяг та внутрішній тиск трубчатих зразків при пропорційному навантаженні при кількох різних значеннях кута виду напруженого стану та температури. За результатами експериментів будуються залежності між першими інваріантами тензорів напружень та деформацій та другими інваріантами відповідних девіаторів в залежності від температури та кута виду напруженого стану. Процес навантаження тіла розбивається на ряд етапів, на кожному з яких послідовно розв'язується задача нестационарної теплопровідності по визначенню температури при заданих умовах теплообміну з навколишнім середовищем та задача термопластичності по визначенню переміщень, деформацій і напружень для фіксованих моментів часу при заданих умовах навантаження та закріплення. Використовується варіаційна постановка задач теплопровідності і термопластичності та напіваналітичний метод скінчених елементів. Лінеаризація задачі здійснюється методом послідовних наближень. Розроблена методика була використана для дослідження напружено-деформованого стану та оцінки міцності відповідальних елементів авіаційної та космічної техніки. Вона дозволяє детальніше досліджувати напружено-деформований стан осесиметричних елементів конструкцій при робочих та екстремальних навантаженнях, знижувати їх матеріалосміність та прогнозувати ресурс при різних режимах роботи.

Література

1. Shevchenko Yu.N., Savchenko V.G. Three-Dimensional Problems of Thermoviscoplasticity: Focus on Ukrainian Research (Review) // Int. Appl. Mech. – 2016. – 52, N3. – P. 217 – 271.
2. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // ПММ. 1965. Т.29, вып.4. С.681-689.

МЕТОД ЗБУРЕННЯ В ЗАДАЧАХ ПРО ПЕРЕДАЧУ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ПІДКРІПЛЮЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ДО ОРТОТРОПНОЇ МАТРИЦІ З УСКЛАДНЕНИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ

Кагадій Т.С., Щербина І.В. *, Шпорта А.Г.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Застосування в техніці матеріалів зі складним комплексом властивостей потребує різних підходів до математичного моделювання та розв'язання відповідних задач. Тому цікавими для практичного застосування є не тільки чисельні розв'язки або суто інженерні підходи, але й аналітичні дослідження. До аналітично-чисельних методів можна віднести і методи малого параметра. Зокрема, метод А.В. Павленка, в якому в якості малого параметру використовується відношення жорсткостей на розтяг-

стискання у різних напрямках. Для врахування можливих співвідношень між компонентами вектора переміщень та швидкостями їх змінення вздовж координат введені перетворення, що залежать від обраного малого параметру. Розв'язки систем, що відповідають вказаним перетворенням, мають різні властивості, але пов'язані між собою. Доведено, що перетворення можуть бути знайдені таким чином, що в кожному наближенні рівняння відносно основних функцій співпадають з рівняннями Лапласа. Показано також, що для основних рівнянь можуть бути сформульовані крайові умови. Таким чином, крайові задачі теорії пружності для ортотропних тіл зведено до послідовного розв'язання крайових задач теорії потенціалу.

В подальшому авторами цієї роботи метод був узагальнений на випадки просторових задач теорії в'язкопружності, плоских задач для ортотропних тіл з криволінійною анізотропією, задач теорії електропружності.

Розглянуто задачу про передачу навантаження від стрингера до ортотропної півплощини. Стрингер розтягується поздовжньою силою. На вільній кромці пластини крайові умови змінюються: в околі стрингера пластина вільна, а починаючи з деякої точки в одному та другому напрямку симетрично стрингеру пластину закріплено. Визначено закон змінення зусиль в стрингері, розподіл контактних зусиль взаємодії між стрингером та пластиною, а також характер напруженого стану в околі точок зміни крайових умов. Сформульована задача відповідає експериментальній моделі композиту, що використовується для визначення адгезійної міцності.

Розглянуто також аналог задачі Мелана, коли прямокутну пластину закріплено за бічними кромками та посилено стрингером, що навантажений поздовжньою силою. Крім того, стрингер знаходиться під впливом деякого навантаження, що пропорційне його зміщенню. Знайдені зусилля в стрингері, пластині та зусилля контактної взаємодії. Задачі в спрощеній постановці можуть розглядатись в рамках теорії електропружності.

ПРО КВАЗІЛЕМБОВІ ХВИЛІ У СИСТЕМІ ШАР ІДЕАЛЬНОЇ РІДИНИ – СТИСЛИВИЙ ПРУЖНИЙ ШАР З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ

О.М. Багно, Г.І. Щурук

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка НАН України

Розвиток науки і техніки висуває нові підвищені вимоги до досліджень у галузі аерогідропружності й, зокрема, до вивчення розповсюдження хвиль у пружних тілах, що контактують з рідиною. Сутність їх полягає в необхідності повнішого врахування властивостей реальних твердих середовищ і на цій основі адекватного опису різноманітних явищ і механічних ефектів, характерних для динамічних процесів у гідропружних хвилеводах.

Хвилі, що поширюються вздовж границі контакту пружного шару та шару рідини, належать до числа узагальнень ґрунтовно досліджених основних типів акустичних хвиль: Релея, Стоунлі, Лява та Лемба. Разом з тим, значне практичне використання поверхневих хвиль вимагає врахування властивостей, які притаманні реальним тілам. До таких факторів належать початкові напруження в твердих тілах.

У даній роботі для проведення дослідження впливу великих (скінченних) початкових деформацій на параметри хвильового процесу в гідропружній системі як підхід обрані постановка задачі та метод, засновані на застосуванні представлень загальних розв'язків лінеаризованих рівнянь руху стисливого пружного шару і шару

ідеальної стисливої рідини, запропоновані в роботах [1, 2]. В рамках лінеаризованої теорії поширення хвиль [1, 2] розв'язувалися задачі на власні значення для рівнянь руху пружного тіла і рідини, а також визначалися відповідні власні функції. Після підстановки загальних розв'язків у граничні умови і виконання ряду перетворень було отримано дисперсійне рівняння, яке описує хвильовий процес в гідропружній системі у широкому діапазоні частот. У подальшому одержане рівняння розв'язувалося чисельно.

Проаналізовано вплив початкової деформації, товщини шарів пружного тіла і рідини на фазові швидкості квазілембових мод. Одержано дисперсійні криві для мод у широкому інтервалі частот. Для гідропружної системи показано, що при зростанні товщини пружного шару швидкість першої моди прямує до швидкості хвилі Стоунлі, а швидкість другої моди – до швидкості хвилі Релея. Фазові швидкості усіх вищих мод прямують до швидкості поширення хвилі зсуву у пружному тілі. Встановлено, що початковий розтяг пружного шару призводить до підвищення фазових швидкостей першої та другої мод. Встановлено, що для мод, починаючи з третьої, і далі для всіх наступних існують товщини пружного шару та певні частоти, при яких початковий розтяг пружного шару не впливає на їх фазові швидкості. Показано, що у випадку тонкого шару рідини кожна мода, починаючи з п'ятої, має три такі частоти. З'ясовано також, що для окремих діапазонів частот початковий розтяг пружного шару може призводити як до підвищення, так і до зменшення величин фазових швидкостей квазілембових мод. Розвинутий підхід та отримані результати дозволяють для хвилевих процесів встановити межі застосовності моделей, основаних на різних варіантах теорії малих початкових деформацій. Одержані результати можуть бути також використані в ультразвуковому неруйнівному методі визначення напружень у приповерхневих шарах матеріалів [2], а також у таких областях, як сейсмологія, сейсмозвідка та в інших.

Література

1. Гузь А.Н. Введение в динамику сжимаемой вязкой жидкости. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. 244 с.

2. Гузь А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: в двух частях. – Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.

ПРО ОСНОВНІ ПІДХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ЕТАПІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В. П. Пошивалов, Ю. Ф. Данієв

Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України

Проблема безпеки експлуатації складних технічних систем в енергетиці, металургії, хімічній промисловості, авіаційній і ракетно-космічній галузях тощо, в нашій країні в теперішні час виходить на одне з перших місць в зв'язку з виробленням їх ресурсу, труднощами зупинки експлуатації і великими витратами їх повної заміни. Також значну роль у вирішенні даної проблеми посідають питання забезпечення надійності технічних систем, що не виробили свій ресурс та знаходяться в експлуатації.

Вимоги до надійності технічної системи в основному закладаються при її проектуванні та забезпечуються при виготовленні [1].

В процесі експлуатації системи її надійність має тенденцію зменшуватися. Швидкість її зменшення залежить від умов експлуатації, кваліфікації обслуговуючого

персоналу, методів експлуатації, що застосовуються. Тому основними підходами забезпечення надійності технічної системи на етапі експлуатації є [2,3]:

- дотримання вимог експлуатаційної документації, правил технічного обслуговування і діагностики несправностей;
- збір, аналіз і обробка експлуатаційної інформації про надійність технічної системи, аналіз причин відмов, пошкоджень і переходів в граничний стан, розробка і проведення заходів щодо їх усунення;
- перепідготовка та навчання передовим методам експлуатації технічної системи обслуговуючого операторського персоналу;
- розробка програм і засобів навчання.

В цьому плані в роботі пропонується використовувати наступні методи для забезпечення надійності технічної системи в процесі експлуатації:

- збір та обробка інформації для контролю і виміру характеристик надійності системи;
- моделювання процесів і параметрів надійності окремих елементів та вузлів системи;
- оцінка різномірної інформації з метою отримання максимальної достовірності результатів при прогнозуванні надійності системи.

В роботі розглянуті методи експертного оцінювання різномірної інформації, що служить основою для оцінки надійності системи на етапі експлуатації та вирішенні задачі раціонального обслуговування при її експлуатації, а саме: оцінка потрібного числа запасних елементів і визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування для систем з функціями розподілу напрацювання до відмови Вейбулла, Релея та інших.

Література

1. Куренков В. И. Методы обеспечения надёжности и экспериментальная отработка ракетно-космической техники [Электронный ресурс] / В. И. Куренков, В. А. Капитонов. – Самара : изд-во СГАУ, 2012. – 258 с. Режим доступа <https://rucont.ru/efd/230126>.
2. Острейковский В. А. Теория надёжности / В. А. Острейковский. – М. : Высш.школа, 2003. – 463 с.
3. Теория надёжности. Статистические модели / А. В. Антонов, М. С. Никулин, А. М. Никулин, В. А. Чепурко. – М.: ИНФРА-М. – 2015. – 576 с.

ДИНАМІКА ШАРУВАТИХ ПІДКРІПЛЕНИХ ОБОЛОНОК

Скосаренко Ю.В.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

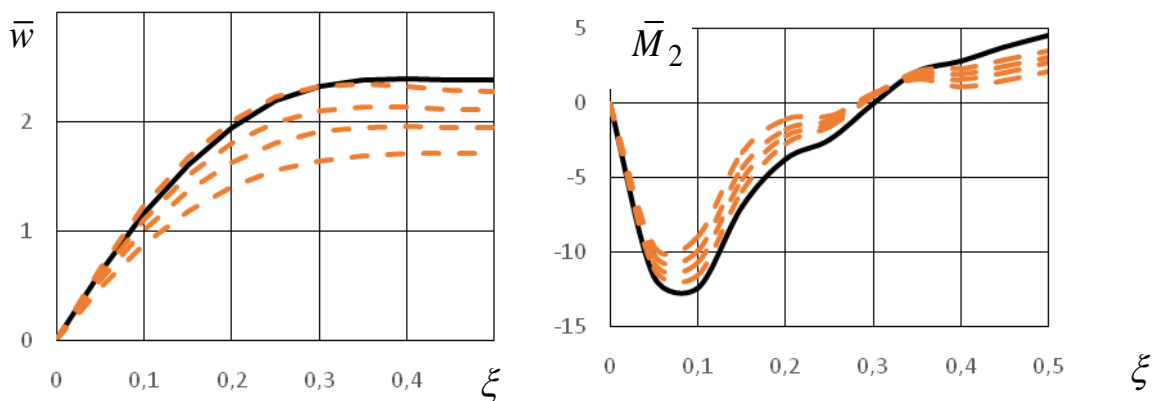
Розроблена методика визначення напружено-деформованого стану шаруватих оболонок циліндричної, конічної форми, що контактують з приєднаними масами та пружною основою, підкріплених поздовжніми і кільцевими ребрами.

На основі на теорії, яка враховує деформації поперечного зсуву в оболонці і ребрах жорсткості, отримані рівняння руху, для розв'язку яких переміщення точок серединної поверхні оболонки апроксимуються тригонометричними рядами по просторових координатах або тригонометричними рядами по коловій координаті та сплайн-функціями вздовж твірної оболонки.

Після перетворень по просторовим координатам отримуємо систему звичайних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку відносно невідомих (коефіцієнти рядів), залежних від часу. Для їх розв'язку використовуємо методи розкладення по формах власних коливань із застосуванням інтегралу Дюамеля, або явну різницеву схему при заданих початкових умовах.

В загальному випадку розв'язувальна система рівняння таких механічних систем не є симетричною, в силу чого метод розкладення по формах власних коливань дає суттєву похибку і може бути застосований тільки коли має місце симетрія системи рівнянь (циліндрична оболонка із симетрично розташованими шарами відносно її нейтральної поверхні і рівномірним розподіленням однакових кільцевих ребер і приєднаних мас по довжині оболонки).

На прикладі тришарової циліндричної оболонки з вісьмома поздовжніми ребрами, яка знаходиться під дією імпульсу зовнішнього тиску виконані розрахунки напруженого стану по обох методиках при нульових початкових умовах.



Наведені на рисунку результати (на лінії контакту ребра з оболонкою) обчислені при утриманні 16 членів рядів по коловій та 10 членів рядів по поздовжній координаті. Суцільні лінії – результат розрахунку методом розкладення розв'язку по формах власних коливань, штрихові лінії – при використанні явної різницевої схеми за часом. Як видно з рисунку, результати, отримані по різницевій схемі наближаються до результатів, отриманих методом розкладення по формах власних коливань. Різниця між максимальними значеннями прогину на лінії з'єднання оболонки з ребром при кроці за часом $\Delta t = t_{зад} / 10$ становить 18,3%, при $\Delta t = t_{зад} / 20$ – 10,8%, при $\Delta t = t_{зад} / 40$ – 6,1%, при $\Delta t = t_{зад} / 160$ – 2,2%, між максимальними значеннями колового згинального моменту \bar{M}_2 , відповідно, 18,4%, 13,6%, 9,9%, 6,8%.

ПІДХІД У ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗАДАЧ ОСЕ-СИМЕТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ТІЛ

Безверхий О.І.¹, Григор'єва Л.О.²

¹Національний транспортний університет,

²Київський національний університет будівництва і архітектури

В роботі розроблено підхід до вирішення задач гармонічних коливань п'єзокерамічних циліндрів на основі варіаційних методів. Досліджено двовимірні гармонічні коливання поляризованих по товщині п'єзокерамічних циліндрів під електричними навантаженнями. Використовуючи принцип Гамільтона -

Остроградського та сплайновінаближення за поздовжньою координатою, система рівнянь електропружності в циліндричних координатах зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь за радіальною координатою. Запропонований підхід дозволяє зменшити коливання передавачів під електричними та механічними навантаженнями при довільних граничних умовах. Отримана крайова задача інтегрується методом дискретної ортогоналізації. Розроблений метод має ряд переваг над розкладом розв'язку в ряди та варіаційними, різницевиими та варіаційно-різницевиими методами, оскільки він передбачає отримання системи звичайних диференціальних рівнянь, яка зручна для розв'язання і не вимагає розв'язування алгебраїчних систем великого порядку, як у різницевиих методах або варіаційно-різницевиих, або підсумовуванні великої кількості членів ряду. Розглядаються порожнисті п'єзокерамічні радіально поляризовані циліндри, які широко використовуються як звукові передавачі та приймачі. Найхарактернішими режимами роботи п'єзокерамічних передавачів є резонансні режими. Розроблена методологія використана для дослідження гармонійних коливань циліндрів із покритими сторонами мембрани при навантаженні електричним потенціалом, встановлення їх резонансних частот та досліджень режимів. Отримані результати перевіряються шляхом порівняння з результатами, знайденими в літературі та отриманими іншими методами. Встановлюється амплітуда рухів зовнішньої поверхні в залежності від частоти навантаження для певного тіла. Резонансні частоти відповідають миттєвим змінам (великим значенням) фізичних характеристик. Для дослідження електромеханічного стану вимушених вібрацій поблизу першого резонансу ми побудували форми основних характеристик деформованого напруженого стану на певних частотах. Встановлено, що максимальні радіальні напруження в циліндрі набагато менші за значення амплітуди поздовжніх і окружних напружень.

ПОЛЗУЧЕСТЬ ОБОЛОЧЕК ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Галишин А.З.¹, Склепус С.Н.²

¹*Институт механики им. С.П.Тимошенко НАН Украины,
г. Киев, e-mail: plast@inmech.kiev.ua*

²*Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины,
г. Харьков, e-mail: snsklepus@ukr.net*

В современной технике находят широкое применение элементы конструкций из функционально-градиентных материалов (ФГМ). ФГМ представляют собой новый класс композиционных материалов, которые получают в результате сплава металла и керамики. Состав и структура ФГМ изменяются по некоторому закону, что приводит к соответствующим изменениям свойств материала. В докладе рассмотрена задача определения напряженно-деформированного состояния пологих и осесимметрично нагруженных цилиндрических оболочек, изготовленных из ФГМ и работающих в условиях высокотемпературной ползучести. Разработаны методы решения нелинейных начально-краевых задач ползучести.

Решение краевой задачи для пологих оболочек сложной формы сводится к вариационной задаче для функционала, записанного в форме Лагранжа. Вариационные задачи решаются методом Ритца в сочетании с методом R-функций. Решение начальной задачи ищется методом Рунге–Кутты–Мерсона с автоматическим выбором шага по времени.

Решение задач ползучести для осесимметрично нагруженных цилиндрических оболочек осуществляется на основе гипотез прямолинейного элемента. На произвольном временном слое решение краевой задачи сводится к численному интегрированию системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которое осуществляется методом Рунге–Кутты с дискретной ортогонализацией по С.К.Годунову. Решение начальной задачи также ищется методом Рунге–Кутты–Мерсона.

В качестве примеров решены задачи ползучести оболочек, выполненных из ФГМ на основе алюминия, армированного частицами SiC. Содержание керамических SiC-частиц линейно изменяется вдоль поперечной координаты. Модуль Юнга ФГМ зависит от объемной части армирующего материала $V(z)$ и подчиняется линейному закону. Характеристики ползучести материала в законе Нортона зависят от $V(z)$ и изменяются вдоль поперечной координаты следующим образом:

$$A(z) = A_0 \left[\frac{V(z)}{V_0} \right]^\phi, \quad n(z) = n_0 \left[\frac{V(z)}{V_0} \right]^{-\phi}.$$

Расчеты были выполнены для материала с однородным распределением SiC-частиц, и двух ФГМ с меньшим и большим перепадом объемного содержания армирующих частиц вдоль радиуса. Среднее значение объемного содержания армирующих SiC-частиц во всех трех случаях было одинаковым. Показано, что характер распределения параметров НДС по толщине оболочки, в процессе ползучести, существенно зависит от функционально-градиентных свойств материала.

УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ НЕСТАЦІОНАРНИХ КОЛИВАНЬ БАГАТОШАРОВИХ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Григор'єва Л.О.

Київський національний університет будівництва та архітектури

Досліджуються товщинні (радіальні) коливання багатошарових п'єзокерамічних поляризованих по товщині тіл пластинчастої ($N=0$), циліндричної ($N=1$) та сферичної ($N=2$) форми з електродованими поверхнями розділу $R_0 < \dots < R_k < \dots < R_n$. Рівняння руху і рівняння для електричної індукції k -го шару мають вигляд

$$c_{33}^k \frac{\partial^2 u^k}{\partial r^2} + \frac{N}{r} c_{33}^k \frac{\partial u^k}{\partial r} + \frac{N^2}{r^2} \left[c_{13}^k \left(1 - \frac{1}{N} \right) - c_{11}^k + \frac{1}{2} (N-1) (c_{11}^k - c_{12}^k) \right] u^k + \\ + (e_{33}^k - e_{31}^k) \frac{N}{r} \frac{\partial \varphi^k}{\partial r} + e_{33}^k \frac{\partial^2 \varphi^k}{\partial r^2} = \rho \frac{\partial^2 u^k}{\partial t^2}; \quad (1)$$

$$e_{33}^k \frac{\partial^2 u^k}{\partial r^2} + \frac{N}{r} (e_{31}^k + e_{33}^k) \frac{\partial u^k}{\partial r} + N(N-1) e_{31}^k \frac{u^k}{r^2} - \varepsilon_{33}^k \frac{N}{r} \frac{\partial \varphi^k}{\partial r} - \varepsilon_{33}^k \frac{\partial^2 \varphi^k}{\partial r^2} = 0. \quad (2)$$

Для шарів з протилежним до радіального напрямком поляризації п'єзоелектричні модулі від'ємні. Для пружних шарів п'єзоелектричні модулі дорівнюють нулю.

Початкові умови накладаються на переміщення і їх швидкості. На зовнішніх поверхнях задаються різниця потенціалів та напруження або переміщення. Між шарами виконуються умови повного контакту

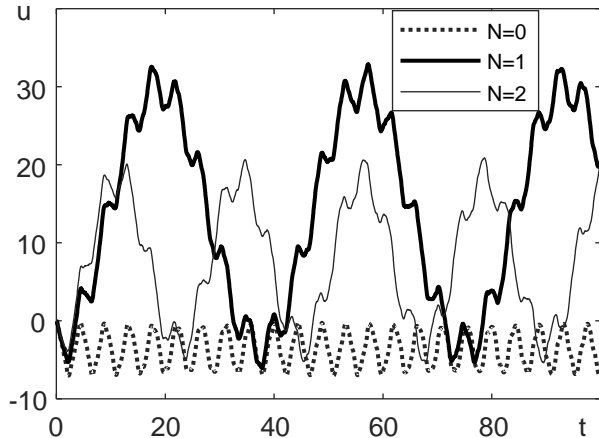
$$u^k(R_k) = u^{k+1}(R_k), \quad \sigma_{rr}^k(R_k) = \sigma_x^{k+1}(R_k), \quad \varphi^k(R_k) = \varphi^{k+1}(R_k). \quad (3)$$

Поставлена початково-крайова задача розв'язується чисельно за допомогою скінченно-різницевого виразу по просторовій координаті та явної і неявної чисельної схеми по часу. Отримуємо систему диференціальних та алгебраїчних рівнянь

$$\rho \frac{d^2 U}{dt^2} = AU + B\Phi + F_1, \quad D\Phi = CU + F_2, \quad (4)$$

де $U = \{u_{m(k-1)+i-1}\}$, $\Phi = \{\varphi_{m(k-1)+i-1}\}$ – переміщення та електричний потенціал в точках розбиття. Тестування запропонованого методу проводилося шляхом порівняння результатів, отриманих на різних сітках різними методами та частинними випадками поставленої задачі [1, 2].

Досліджувались коливання перетворювачів з ЦТС-19 при $n=5$. Розглядалися тіла з зустрічно поляризованими шарами однакової товщини при збуренні типу Хевісайда. З зростанням кількості шарів спостерігається зростання амплітуд коливань майже пропорційно до кількості шарів. Представлена чисельна схема може бути легко модифікована для інших умов закріплення, навантаження, матеріалів шарів, в тому числі пружних.



Література

1. L. Grigoryeva. Calculation of Cylindrical Multilayer Electromechanical Transducer at Different Polarization Types in Non-stationary Modes. Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 1(54), 2018. - P. 5-11.
2. Shulga, M.O., Grigoryeva, L.O. Electromechanical unstationary thickness vibrations of piezoceramic transformers at electric excitation // Mechanical Vibrations: Types, Testing and Analysis. – Nova Science Publishers, New York. – 2010. – pp. 179-204.

УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ПРЯМИХ В ЗАДАЧАХ ТЕРМОПРУЖНОСТИ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ТІЛ

Левківський Д.В.

Київський національний університет будівництва та архітектури

Елементи конструкцій, машин та механізмів в поєднанні з статичним навантаженням зазнають температурних впливів від оточуючого середовища. Напружено-деформований стан таких об'єктів може змінюватись в часі. У даній роботі проводиться моделювання процесів в рамках теорії термопружності для вісесиметричних тіл [1]. Розв'язання початково-граничної задачі проводиться комбінованим чисельно-аналітичним підходом. На першому етапі визначається розподіл теплового поля в часі за допомогою проекційного методу по товщині h та явної різницевої схеми по часу та координаті r (рис.1) [2]. На другому етапі розв'язується квазістатична задача в часі. Зниження вимірності

виконується проекційним методом по товщині h . Редуковані рівняння та граничні умови записуються у формі Коші у вигляді звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, що залежать від координати r . У подальшому задача розв'язується методом дискретної ортогоналізації С. К. Годунова.

Для зниження вимірності використовується узагальнення класичного методу прямих. У якому скінченно-різницеві співвідношення замінені проекційними аналогами, використовуючи локальні базисні функції (рис.2) [3].

Шукані функції записуються у вигляді лінійної комбінації: $f(r, z) \approx f^i(r) \cdot \varphi_i(z)$.

Граничні умови моделюються за допомогою стержнів певної жорсткості, що дає можливість врахувати пружну основу, шарнір та кінематичні фактори.

Це значно спрощує процедуру зниження вимірності, дозволяє врахувати всі види відомих граничних умов та робить метод прямих гнучким та універсальним, розширити його на задачі динаміки та термопружності.

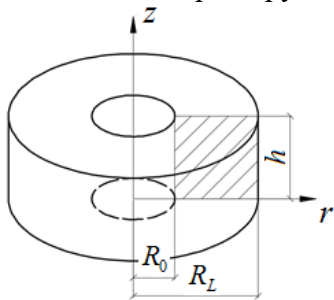


Рис.1. Вісесиметричне тіло

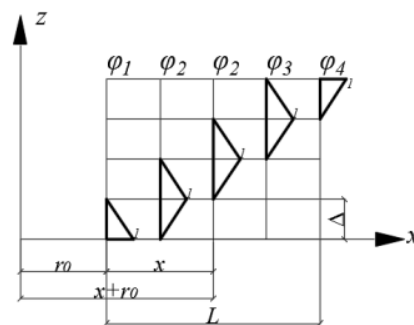


Рис.2. Базисні функції

Література

1. Новацкий В. Теория упругости. Пер. с польск. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1975. – 256 с.
2. Левківський Д.В., Сович Ю.В., Каверин К. О. Застосування узагальненого методу прямих для дослідження теплового поля вісесиметричних тіл. / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 69. – Київ, КНУБА, 2019. – С. 207-214.
3. Левківський Д.В., Сович Ю.В., Каверин К. О. Дослідження точності модифікованого методу прямих при розрахунку вісесиметричних тіл / Опір матеріалів і теорія споруд: Науково-техн. Збірник. – Вип. 103, – Київ, КНУБА, 2019. – С. 243-252

ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО МЕТОДУ ПРЯМИХ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КІЛЬЦЕВИХ НЕТОНКИХ ПЛАСТИН

Янсонс М.О.

Київський національний університет будівництва та архітектури

Однією з важливих конструктивних форм об'єктів будівництва, елементів машин та механізмів є вісесиметричні тіла (фундаменти кільцевих споруд, тунелі, колодязі, димові труби, шестерні, колеса та ін.). У результаті динамічних впливів у цих

об'єктах виникає складний просторовий напружено-деформований стан, який призводить до ускладнень стану матеріалів. Проектування таких конструкцій вимагає об'єктивного дослідження напружено-деформованого стану. Навіть використання сучасних програмних комплексів оснований на МСЕ не завжди точно визначає особливості напружено-деформованого стану таких складних об'єктів. Альтернативою універсальним числовим методом є комбіновані чисельно-аналітичні методи, що можуть дати більш точні і об'єктивні результати. Один з класичних комбінованих методів будівельної механіки є метод прямих, який в статичних задачах надає достатньо об'єктивний і точний результат [1,2]. У даній роботі згаданий метод поширюється на динамічні задачі для вісесиметричних тіл.

Напружено-деформований стан нетонких кільцевих пластин моделюється системою тривимірних рівнянь теорії пружності. У випадку вісесиметричної задачі ці рівняння спрощуються до двовимірних, які записані для осового перерізу (Рис.1)

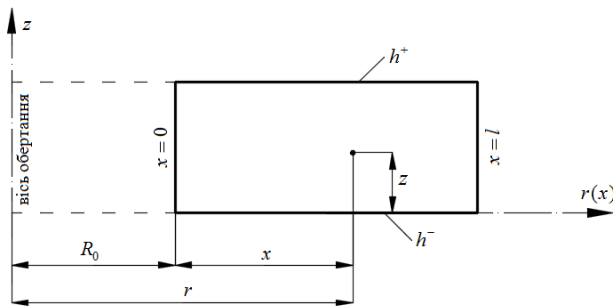


Рис.1. Осовий переріз кільцевої пластини

У першій групі рівнянь, компоненти тензора деформацій виключені за допомогою рівнянь Коші та закону Гука. Такий вигляд рівнянь не включає мішаних похідних і є зручним для застосування інтегральних перетворень, які далі використовуються при зниженні вимірності.

Для кільцевої пластини, габаритні розміри якої спів розмірні, зручно перейти від просторової змінної r до змінної x , враховуючи, що відповідні похідні співпадають: $r = R_0 + x$, $\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial x}$. У зв'язку з цим вихідні рівняння набувають вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_r}{\partial x} &= \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \cdot \frac{u_r}{R_0 + x} + \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial z} - \sigma_{rr}, \quad \frac{\partial u_z}{\partial x} = -\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{1}{\mu} \sigma_{rz}, \\ \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial x} &= \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2} - \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} - \sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} - X_r, \quad \sigma_{rz} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial x} &= \rho \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2} - \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} - \frac{\sigma_{rz}}{R_0 + x} - X_z; \quad \sigma_{\theta\theta} = \lambda \frac{\partial u_r}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) \frac{u_r}{R_0 + x} + \lambda \frac{\partial u_z}{\partial z}; \end{aligned} \quad (1)$$

Узагальнений метод прямих передбачає розв'язання задачі в 2 етапи. На першому етапі – аналітично за допомогою проєкційного методу знижується вимірність вихідних рівнянь по товщині (координата z). Невідомі функції вихідної системи (1) розглядаються як елементи евклідового простору зі скалярним добутком:

$$(f(z), g(z)) = \int_{h^-}^{h^+} f(z) \cdot g(z) dz \quad (2)$$

Дві інші змінні x, t вважаються параметрами. Скалярний добуток (2) використовується для проєктування вихідних рівнянь на відрізок $[0; l]$, аналогічно проєктуються вихідні початкові та граничні умови на поверхні $x = 0$ та $x = l$. Послідовність редукування перших двох та останніх двох рівнянь системи (1) виконується за наступною схемою:

$$\left(\left(\frac{\partial u_z}{\partial x} = -\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{1}{\mu} \sigma_{rz} \right), \varphi^i(z) \right) \rightarrow \frac{\partial u_z^i}{\partial x} = -\int_{h^-}^{h^+} \frac{\partial u_r}{\partial z} \cdot \varphi^i(z) dz + \frac{1}{\mu} \sigma_{rz}^i \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\partial u_z^i}{\partial x} = -\int_{h^-}^{h^+} \frac{\partial (u_r^\alpha \cdot \varphi_\alpha(r))}{\partial z} \cdot g^{ij} \cdot \varphi_j(z) dz + \frac{1}{\mu} \sigma_{rz}^i \rightarrow \frac{\partial u_z^i}{\partial x} = -g^{ij} \cdot b_{ij} \cdot u_r^\alpha + \frac{1}{\mu} \sigma_{rz}^i$$

Тут в якості базисних функцій використовуються локально зосереджені функції-кришки $\varphi_i(z)$. Оскільки ці функції не є ортогональними в скалярному добутку (2), то необхідно використовувати крім цього основного базису також взаємний базис $\varphi^i(z)$, а також використовується тензорна символіка, метричні тензори

$$g^{ij} = (\varphi_i(z), \varphi^j(z)); g_{ij} = (\varphi_i(z), \varphi_j(z)); \delta^i_j = (\varphi^i(z), \varphi_j(z)); \delta_i^j = (\varphi_i(z), \varphi^j(z)); \quad (3)$$

Граничні умови на площинах $z = h^-$ та $z = h^+$ при проектуванні вихідних рівнянь рівноваги включається до редукованих рівнянь. У результаті редукування отримуємо початково-граничну задачу одновимірну по просторових координатах. Два рівняння системи мають вигляд:

$$\frac{\partial u_r^i}{\partial x} = -\frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \cdot \frac{1}{R_0 + x} \cdot \delta_{i,\gamma}^i \cdot u_r^\gamma - \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} g^{ij} b_{j\gamma} u_z^\gamma + \frac{1}{\lambda + 2\mu} \delta_{i,\gamma}^i \sigma_{rz}^\gamma;$$

$$\frac{\partial \sigma_{rz}^i}{\partial x} = \frac{2\lambda\mu}{\lambda + 2\mu} \frac{g^{ij} b_{aj} u_r^\alpha}{R_0 + x} + (g^{iN} u_z^N - g^{i1} u_z^1) + \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} g^{ij} b_{aj} g^{\alpha\beta} b_{\beta\gamma} u_z^\gamma - \frac{\lambda g^{ij} b_{aj} \sigma_{rr}^\alpha}{\lambda + 2\mu} - \frac{\sigma_{rz}^i}{R_0 + x} - XX_z^i.$$

Тут XX_r^i враховує задані зовнішні силиві $q_{zr}^-, q_{zr}^+, q_{zz}^-, q_{zz}^+$ та зовнішні кінематичні $\Delta_{zr}^-, \Delta_{zr}^+, \Delta_{zz}^-, \Delta_{zz}^+$ впливи, об'ємні силиві X_r^i та X_z^i та інерційні $\frac{\partial^2 u_r^i}{\partial t^2}, \frac{\partial^2 u_z^i}{\partial t^2}$ впливи. В якості другого етапу узагальненого методу прямих таку задачу рекомендується розв'язувати чисельними методами.

Література

1. Винокуров Л. П. Приближенный метод решения плоских задач теории упругости. Тр. Харьковск. инж.-стр. ин-та, вып. 2, 47—123, 1949.
2. Шкелев Л.Т., Морсков Ю.А., Романова Т.А., Станкевич А.Н. Метод прямих и его использование при определении напряженного и деформированного состояний пластин и оболочек. – К.: КНУСА, 2002. – 177с.
3. А. М.Станкевич, В.К. Чибіряков, Л. Т. Шкельов, Левківський Д. В. До зниження вимірності граничних задач теорії пружності за методом прямих. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – Вип. 36. – Київ, КНУБА, 2010. – С. 413-423.

НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТРУБЧАТЫМИ ОБРАЗЦАМИ

Тормахов Н.Н.

Институт механики им. С.П.Тимошенко НАНУ

Экспериментальные данные о механических свойствах конструкционных материалов в условиях сложного напряженного состояния получают в опытах с нагружением тонкостенных трубчатых образцов внутренним давлением. В процессе этого нагружения в тонкостенных трубчатых образцах в радиальном направлении возникает неоднородное напряженное состояние.

Осевые, окружные и радиальные напряжения, возникающие в трубчатых образцах, при их нагружении внутренним давлением в упругой стадии описывается формулами Ламе. За пределами упругой работы механические свойства материала приближаются к тем, которые описывает модель упруго-идеально пластичного по критерию Губера-Мизеса тела [1]. Расчеты напряженного состояния трубчатого образца показывают, что степень неоднородности напряженного состояния зависит от соотношения толщины стенки образца к его диаметру, и от того, в упругом или пластическом состоянии находится материал. В пределах упругости осевые напряжения по толщине образца постоянны, а окружные напряжения и интенсивность напряжений на внутренней поверхности образца больше, чем на наружной. В случае идеальной пластичности окружные и осевые напряжения на наружной поверхности превышают эти же напряжения на внутренней поверхности, а интенсивность напряжений будет одинакова. Радиальные напряжения в упругой и пластической областях работы материала максимальны на внутренней поверхности образца и равны нулю на наружной. Расчеты показывают, что при одинаковой величине внутреннего давления, окружные, осевые и радиальные напряжения на срединной поверхности образца практически одинаковы как в упругой, так и в пластической области работы материала. Это дает основание для определения механических свойств материала в опытах с нагружением трубчатых образцов внутренним давлением по напряженно-деформированному состоянию срединной поверхности образца [2].

В процессе обработки экспериментальных данных при определении напряжений трубчатых образцов исследователи используют разные формулы, а радиальными напряжениями обычно пренебрегают и считают напряженное состояние плоским. Использование разных формул при обработке экспериментов приводит к разным оценкам механических свойств одних и тех же материалов. Так как напряженное состояние на срединной поверхности тонкостенного трубчатого образца, подвергнутого внутреннему давлению, практически не зависит от того, в упругом или пластическом состоянии находится его материал, то напряжения на срединной поверхности лучше определять по более простым формулам Ламе [2].

При определении интенсивности напряжений желательно учитывать радиальные напряжения, т.к. это приводит к повышению точности определения напряженного состояния и уменьшению расхождений при определении пределов текучести материалов для разных видов напряженного состояния материала.

1. Работнов Ю.Н. *Сопротивление материалов*. — М.: Физматгиз, 1962. — 456 с.
2. Тормахов Н.Н. *Напряжения в экспериментах с нагружением трубчатых образцов внутренним давлением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2020, №12, с. 64-68.*

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОШАРОВИХ КОМПОЗИТНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ІЗ ОРТОТРОПНИМИ ШАРАМИ ТА НАНОАРМУВАННЯМ

Угрімов С.В., Кобильнік В.А.

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
(Харків, Україна, sugrimov@ipmach.kharkov.ua)*

У сучасній аерокосмічній техніці широко використовуються багатошарові оболонкові конструкції із анізотропних матеріалів. Останнім часом особлива увага приділяється композиційним матеріалам, посиленим вуглецевими нанотрубками. За рахунок використання нановключень, які мають міцнісні характеристики на декілька порядків вищі за аналогічні параметри матриці та відносно невелику питому вагу, досягаються висока жорсткість та міцність матеріалу. Армування оболонкових конструкцій нанотрубками може супроводжуватися їх різним розподілом по товщині, що дозволяє отримувати функціонально градуйовані матеріали. Нерівномірний розподіл волокон по товщині композита приводить до залежності пружних характеристик та густини від поперечної координати.

Для описання поведінки тонкостінних елементів конструкцій зазвичай використовуються різні двовимірні моделі, які засновані на спрощеному описанні процесу деформування по товщині оболонки. Але механічні властивості нанокompозитів змінюються вздовж товщини, що потребує застосування неklasичних моделей оболонок для їх аналізу, а також проведення додаткового дослідження можливостей застосування різних двовимірних моделей для нанокompозитів. Найбільш просто границі застосування двовимірних теорій можна отримати шляхом порівняння результатів розрахунку з аналогічними даними, отриманими на основі тривимірної теорії пружності. У роботі досліджується процес деформування багатошарових циліндричних панелей, що знаходяться під дією зовнішніх силових навантажень як статичних, так і динамічних. Поведінка кожного шару композита описується тривимірними рівняннями. Система рівнянь доповнюється граничними умовами на зовнішніх поверхнях, умовами жорсткого контакту сусідніх шарів та умовами шарнірного опирання по контуру. Метод розв'язання системи диференціальних рівнянь базується на розвиненні компонент переміщень і зовнішніх навантажень у ряди Фур'є по координатах φ і z . У результаті вихідна система рівнянь зводиться до системи диференціальних рівнянь у частинних похідних від r і t . Потім похідні по поперечній координаті r замінюються на їх скінченнорізницеви́й вираз з використанням симетричної схеми. В результаті задача зводиться для кожної гармоніки до інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь. Для розв'язання отриманої системи рівнянь використовується модифікований метод розвинення розв'язку у ряд Тейлора, для визначення частот використовується метод Хессенберга.

Достовірність запропонованого методу доведено на тестових задачах статичного та динамічного деформування ортотропних пластин та панелей. Проведено чисельне дослідження впливу щільності та характеру армування наноструктурами на напружено-деформований стан та власні частоти коливання панелей із різними геометричними характеристиками. Результати розрахунку порівнюються із відомими розв'язками, отриманими іншими дослідниками.

Розроблений підхід може бути корисним для визначення границь застосовності двовимірних моделей композитів із шарами, армованими нановолокнами.

ПАРАМЕТРИЧНІ КОЛИВАННЯ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

Козлов В.І. , Зінчук Л.П.

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

Тонкостінні пластини та оболонки, що виготовлені з композиційних п'єзоелектричних в'язкопружних матеріалів, як конструктивні елементи знаходять широке застосування в різноманітних галузях сучасної техніки. У процесі експлуатації вони можуть перебувати під дією поздовжніх динамічних навантажень, що і зумовлює значний інтерес до проблем параметричних коливань таких елементів.

У даній роботі з урахуванням деформацій поперечного зсуву представлена уточнена постановка задачі про параметричні коливання шаруватих п'єзоелектричних в'язкопружних оболонок обертання при електромеханічному гармонічному навантаженні. Математичну модель побудовано з використанням механічних гіпотез про пошарову апроксимацію деформацій зсуву квадратичними функціями по товщині шаруватої оболонки, які в свою чергу доповнено адекватними гіпотезами щодо розподілу електричних польових величин, коли відмінними від нуля є компоненти вектора напруженості електричного поля та нормальна складова вектора електричної індукції. Дисипативні властивості матеріалів враховуються на основі теорії лінійної в'язкоелектропружності.

При вивченні параметричних коливань елементів конструкцій основними задачами є побудова областей динамічної нестійкості і дослідження коливальних процесів в цих областях. Для розв'язання першої задачі використовується лінеаризована теорія, а для розв'язання другої потрібно використовувати теорію коливань з урахуванням геометричної нелінійності.

Для розв'язання поставлених задач розроблено методику, що ґрунтується на застосуванні методу скінченних елементів. З цією метою на основі рівнянь Лагранжа наведено варіаційне формулювання зв'язаних задач електромеханіки для шаруватих оболонок обертання при механічних і електричних навантаженнях. При розв'язуванні отриманих скінченно-елементних рівнянь використано класичний метод розкладу невідомих величин за гармоніками, які знаходяться з розв'язку узагальненої задачі на власні значення і власні функції. Це дає можливість звести матричне рівняння руху до рівняння типу Матьє-Хілла з врахуванням дисипації енергії, яке розв'язується методом гармонічної лінеаризації, що дозволяє визначити межі областей динамічної нестійкості.

У випадку шарнірно закріпленої циліндричної панелі одержано чисельно-аналітичний розв'язок задачі, який дає можливість оцінити точність та ефективність запропонованого варіанту методу скінченних елементів при дослідженні параметричних коливань з урахуванням деформацій поперечного зсуву. На основі розробленої методики чисельно визначено межі перших двох областей динамічної нестійкості для тришарових циліндричних панелей з зовнішніми п'єзоактивними шарами і внутрішнім пасивним шаром при механічному поздовжньому навантаженні і шарнірному закріпленні торців. Досліджено вплив декременту дисипації на розміщення меж зон динамічної нестійкості в області зміни частоти зовнішнього навантаження і коефіцієнта збудження. Зокрема встановлено, що дисипація енергії робить неможливим виникнення параметричного резонансу при невеликих значеннях коефіцієнта збудження. Проведено порівняння результатів розрахунків областей динамічної нестійкості, які отримані з використанням запропонованої методики, що враховує деформації зсуву, та класичної теорії Кірхгофа-Лява для тонкостінних елементів.

ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО КРУГОВОГО ОТВОРУ В ПЛАСТИНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ОТОЧУЮЧИХ ЙОГО ЕЛІПТИЧНИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Гарт Е.Л., Рибалко Я.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Більшість реальних конструкцій має особливості (виточки, отвори і т.д.), що викликають концентрацію напружень. Такі конструкційні особливості, локальні концентратори напружень, призводять до збільшення напружень в малих областях, що примикають до місць з різкою зміною форми поверхні тіла, розмірів його перерізу або з локалізованою неоднорідністю матеріалу всередині тіла. Концентрація напружень спостерігається в околі таких зон, а також в зонах контакту тіл, що деформуються. Аналіз руйнувань елементів конструкцій показує, що переважна більшість поломок, утворення крихких, втомних тріщин і інших причин втрати несівної здатності конструкцій виникають, як правило, поблизу цих концентраторів [3, 4].

Урахування впливу локальних концентраторів на напружено-деформований стан (НДС) пружних середовищ, зокрема пластин, і способи зниження концентрації напружень в тонкостінних конструкціях є актуальним завданням механіки деформованого твердого тіла. При дослідженні НДС конструкцій з неоднорідностями доцільно використовувати числові методи механіки, які, на відміну від аналітичних, є досить універсальними та ефективними для розв'язування зазначеного класу задач [1, 2, 5].

При використанні навколо отворів включень різної геометричної форми і механічних властивостей можна впливати на розподіл напружень в тілі та концентрацію напружень.

У даній роботі, як продовженні [2], досліджено НДС прямокутної пластини з одним круговим отвором радіусу r і симетрично розташованими навколо нього під кутом 30° відносно горизонтальної осі двома та чотирма еліптичними включеннями з іншого матеріалу. Пластина знаходиться під дією одновісного рівномірного навантаження розтягу. Проведено скінченноелементний аналіз впливу відстані l між отвором та включеннями, їх кількості, способу розташування та механічних властивостей на концентрацію напружень навколо отвору.

Із розглянутих варіантів розташування включень навколо отвору найкращим з точки зору зменшення концентрації напружень виявився варіант чотирьох еліптичних включень, симетрично розташованих під кутом 30° відносно горизонтальної осі, і які заходяться на відстані $l=2,5r$ від отвору, при використанні більш «жорстких» включень ($k>1$), що дало змогу зменшити значення коефіцієнта концентрації напружень (ККН) на $\sim 34\%$. Тут k – коефіцієнт відносної жорсткості включення, $k = E_{\text{вкл.}}/E_{\text{пл.}}$. У порівнянні з результатами [2] цей варіант розташування є найкращим. У разі більш «м'яких» включень ($k<1$) ККН зростає при зменшенні відстані між включенням і отвором.

У табл. 1 наведено значення ККН для розглянутих випадків розташування еліптичних включень для різних варіантів відстані ($l=8r; 5r; 3r; 2,5r$) між отвором та «жорстким» ($k>1$) або «м'яким» ($k<1$) включеннями.

Таблиця 1 – Значення ККН в залежності від кількості, відстані і розташування включень

Задача	Відстань l	Два включення під кутом 30° до осі Ox		Чотири включення під кутом 30° до осі Ox	
		$k > 1$	$k < 1$	$k > 1$	$k < 1$
	$8r$	2.9	3.17	2.81	3.26
	$5r$	2.81	3.32	2.57	3.53
	$3r$	2.63	3.63	2.1	3.97
	$2,5r$	2.61	3.77	1.98	4.04

У табл. 2 подано зміни ККН у відсотковому відношенні для всіх розглянутих випадків у порівнянні з результатами для пластини з круговим отвором без включень.

Таблиця 2 – Відхилення ККН (%) для розглянутих випадків від значення ККН для пластини з отвором без включень

Задача	Відстань l	Два включення під кутом 30° до осі Ox		Чотири включення під кутом 30° до осі Ox	
		$k > 1$	$k < 1$	$k > 1$	$k < 1$
	$8r$	-3.3	+5.7	-6.3	+8.7
	$5r$	-6.3	+10.7	-14.3	+17.7
	$3r$	-12.3	+21.0	-30.0	+32.3
	$2,5r$	-13.0	+25.7	-34.0	+34.7

На рис. 1 наведено розподіл відносної інтенсивності напружень σ_i/p вздовж розгортки отвору пластини для випадку розташування чотирьох еліптичних включень під кутом 30° до осі Ox для різних значень відстані ($l=8r$; $5r$; $3r$; $2,5r$) в разі «жорстких» включень.

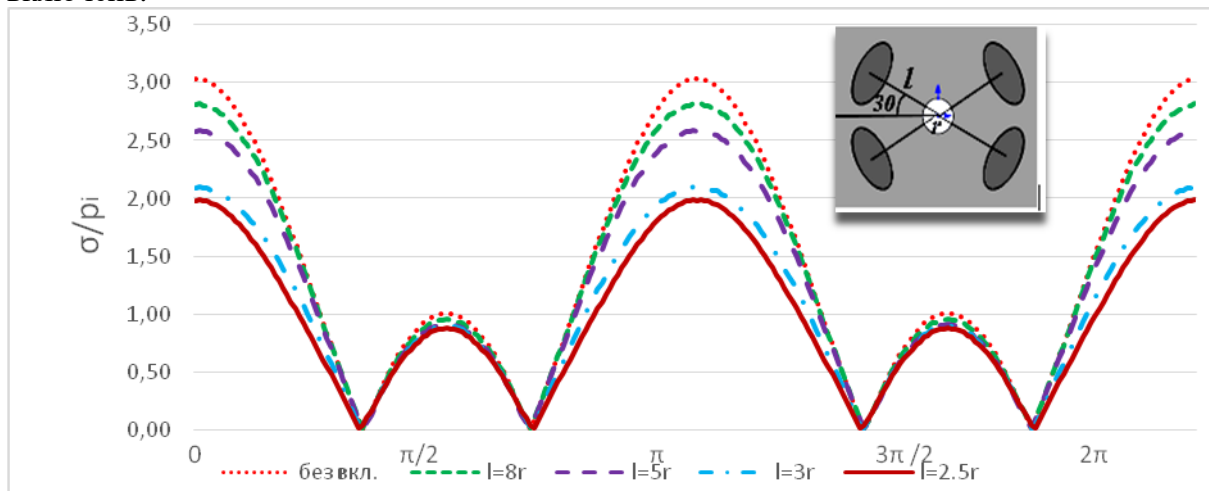


Рис. 1 – Розподіл σ_i/p по розгортці отвору пластини при $k > 1$

У результаті проведеного комп'ютерного моделювання впливу на коефіцієнт концентрації напружень у пластині оточуючих круговий отвір еліптичних включень виявлено, що за наявності «жорстких» включень, розташованих певним чином, вдається зменшити концентрацію напружень навколо отвору більш ніж на 30%. Це відкриває можливість керувати концентрацією напружень навколо отвору за рахунок певного розташування включень з іншими механічними властивостями.

Література

1. *Гарт Э. Л.* Конечноэлементный анализ плоскодеформируемых сред с включениями // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер.: Механіка. – 2011. – Вип. 15, т. 2. – С. 39–47.
2. *Гарт Е. Л., Рибалко Я. В.* Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2019. – Вип. 30. – С. 5–18.
3. *Победра Б. Е.* Механика композиционных материалаов. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 336 с.
4. *Савин Г.Н., Тульчий В.И.* Справочник по концентрации напряжений. – Киев: Вища школа, 1976. — 412 с.
5. *Hart E. L., Hudramovich V. S.* Projection-iterative schemes for the implementation of variational-grid methods in the problems of elastoplastic deformation of inhomogeneous thin-walled structures // J. Math. Sci. – 2021. – Vol. 254, No. 1. – P. 21–38. – Available from: <https://doi.org/10.1007/s10958-021-05285-7>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ШАРУВАТІЙ ОСНОВІ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Бабич С.Ю., Глухов Ю. П.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Інтенсивний розвиток науки і техніки, створення нових конструкцій, будівельних споруд, використання якісно нових матеріалів і технологій, що відповідають сучасному рівню науково-технічного прогресу, висувають підвищені вимоги до досліджень динамічних процесів в цих конструкціях і спорудах.

У роботі дана постановка динамічних задач для шаруватої основи з початковими напруженнями при дії поверхневого навантаження. Приведені основні рівняння та співвідношення лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями. Розглянуто ряд математичних моделей шаруватої основи.

Із застосуванням методу інтегральних перетворень Фур'є отриманий розв'язок задач: для пружної багат шарової смуги, що лежить на пружному півпросторі; для пружного шару на пружному півпросторі; для пластини на пружному півпросторі; для двошарового півпростору, верхній шар якого моделюється зосередженими масами.

Аналітичні результати приведені в загальному вигляді для стисливого та нестисливого матеріалів з довільним пружним потенціалом, для випадків нерівних і рівних коренів характеристичних рівнянь, для різних умов сполучення елементів шаруватого середовища і для будь-якої швидкості руху навантаження (дозвукової, трансзвукової і надзвукової).

Приведені результати чисельного дослідження напружено деформованого стану шаруватої основи при дії рухомого поверхневого навантаження. Для проведення числового аналізу розглядалися гармонічний потенціал та потенціал Бартенєва-Хазановича. Розрахунки були проведені в рамках теорії скінченних (великих) початкових деформацій.

Досліджено вплив рухомого навантаження, початкових напружень та умов контакту елементів шаруватої основи на основні характеристики її напружено-деформованого стану.

Проведена оцінка можливих значень коренів характеристичних рівнянь. Отримані необхідні і достатні умови існування кратних коренів характеристичних рівнянь.

Початкові (залишкові) напруження істотно впливають на значення параметрів, що характеризують напружено-деформований стан шаруватих конструкцій.

Значення параметрів, що характеризують напружено-деформований стан в конкретній точці багатошарового середовища, залежить від координат точки, яка досліджується, від траєкторії та швидкості руху поверхневого навантаження, механічних параметрів елементів шаруватого середовища та умов їх контакту.

Врахування початкових напружень у рамках лінеаризованої теорії пружності приводить до нових постановок задач про взаємодію деформованих тіл, що істотно відрізняються від постановок класичних задач теорії пружності.

Результати досліджень можуть бути використані в інженерній практиці при проектуванні та розрахунках шаруватих елементів конструкцій при динамічних навантаженнях.

THE DEFORMATION OF THE INTERFACE CRACK IN PIEZOELECTRIC BI-MATERIAL WITH ACCOUNT OF MAXWELL FORCES

O. Onopriienko

Dnipro State Agrarian And Economic University

Piezoelectric ceramics is a priority material for a variety of electronic and mechanical devices due to its pronounced piezoelectric, dielectric and pyroelectric properties. However, piezoelectric ceramics are fragile and prone to cracking on all scales from electrical domains to complete devices. Various defects, such as domain walls, grain boundaries, cracks and pores, impurities and inclusions, etc., occur in piezoelectric ceramics. Such defects cause high voltages and / or electric field concentrations, which can lead to the appearance and growth of cracks, electrical breakdowns and, as a consequence, to the destruction of electronic and mechanical devices. These circumstances are of great interest in studying the problems of the mechanics of destruction of piezoelectric materials and increase the reliability of the operation of piezoelectric elements of electronic products.

A plane strain problem for a crack along the interface of two piezoelectric semi-infinite spaces is considered. It is assumed that the bi-material is subjected to the action of a mechanical loading and an electrical flux at infinity. The crack is considered as mechanically free and electrically limited permeable. Additionally the electrical traction of the crack faces induced by Coulombic forces in the crack region is taken into account.

The presentations of the mechanical displacements and electrical potential jumps, and also of the stresses and the electrical displacement at the interface are obtained via a sectionally holomorphic vector-function. Assuming that the electric flux is constant over the crack region the problem is reduced to a Riemann-Hilbert problem, which is solved exactly. All electromechanical characteristics at the interface are presented in a closed form and the asymptotic formulas for the stresses and electric displacement at the crack tip vicinity are derived as well. The validity of the assumption concerning the constant electric flux in this region is confirmed. A simple equation is found for the electric flux determination.

Numerical results corresponding to the obtained solutions are calculated for the bimaterial PZT4/PZT5 and presented. In particular, it is shown that the electrical flux over the crack region and the stress and electrical intensity factors depend on electrical permeability of

the crack medium. In contrast to the “exact” electrical boundary conditions the account of the Coulombic traction leads to the dependence of the SIF K_I on the electric permeability of the crack medium.

Special attention is devoted to the particular case of a homogeneous piezoelectric material. In this case the coefficient of the electrical potential and normal displacement jump is constant in the crack region and, therefore, the electric flux is constant exactly in this case. The results of numerical analysis for the homogeneous case are presented both for electrically “exact” and energy consistent boundary conditions. It is shown, in particular, that the ERR decreases with growing of electric flux for both crack models. The maximum crack opening increases with increasing of the electric flux for the electrically “exact” crack model. For all calculated parameters the difference in the results obtained with use of electrically “exact” and energy consistent crack models is negligible for small values of the electric flux. However this difference increases steadily with growing of the electric loading.

Keywords: piezoelectric material, interface crack, Maxwell forces, finite electrical permeability.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК СКЛАДНОЇ ФОРМИ З ПЛІВКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Сметанкіна Н.В., Меркулова А.І., Меркулов Д.О., Постний О.В.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Визначення температурних полів та напружень у багатошарових елементах конструкцій, що мають форму циліндричних незамкнених оболонок є актуальною задачею, що виникає в багатьох галузях машинобудування. Розв’язання цієї задачі приводить до математичних труднощів, пов’язаних з описом геометричних параметрів, умов теплообміну з зовнішнім середовищем, розв’язанням систем інтегральних рівнянь.

Метою роботи є розробка методу розрахунку температурних напружень у багатошарових циліндричних оболонок складної форми в плані з плівковими джерелами тепла. Багатошарова оболонка зібрана з шарів постійної товщини. На зовнішніх поверхнях відбувається конвективний теплообмін, а на границях контакту шарів розташовані розподілені плівкові джерела тепла. Деформації шарів оболонки описуються у рамках теорії першого порядку, що враховує деформації поперечного зсуву й обтиснення по товщині у кожному шарі. Рівняння термопружної рівноваги та граничні умови одержані з принципу можливих переміщень. Температурні впливи отримані в результаті розв’язання задачі теплопровідності. Розподіл температури вздовж товщини кожного шару, а також щільність внутрішніх теплових джерел описано за допомогою ортонормованих поліномів Лежандра[1].

Метод розв’язання задачі базується на прийомі занурення складної області в область канонічної форми[2]. Вихідна багатошарова оболонка довільної форми в плані занурюється в допоміжну охоплюючу багатошарову оболонку з тією же композицією шарів. Форма цієї оболонки та граничні умов обираються таким чином, щоб можливо було одержати простий аналітичний розв’язок. Щоб забезпечити виконання реальних граничних умов, до допоміжної оболонки вздовж границі вихідної оболонки додаються додаткові компенсуючі джерела (задача теплопровідності) або навантаження (задача термопружності), інтенсивність яких визначається з системи інтегральних рівнянь.

На основі запропонованого методу досліджено напружено-деформований станелектрообігрівного багат шарового скла літаків типу Анпри нагріванні плівковими джерелами тепла. Встановлено, що підвищені температурні напруження локалізуються у кутах та посередині областей, на яких розташовані джерела електрообігріву, що збігається з експериментальними даними. Розроблено рекомендації з підвищення ефективності роботи та вибору питомих потужностей електрообігрівних елементів авіаційного скління.

Література

1. Malykhina A. I. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates / A. I. Malykhina, D. O. Merkulov, O. V. Postnyi, N. V. Smetankina // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2019. – Т. 41. – С. 46–54.
2. Сметанкіна Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек: монография. – Харьков: Міськдрук, 2011.– 376 с.

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКІВ ПРИ УДАРІ ПТАХА

Сметанкіна Н.В., Меркулова А.І., Меркулов Д.О.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

З кожним роком зростає кількість зіткнень літаків з птахами. Характер наслідків зіткнення літака із птахом залежить, у першу чергу, від того, яка частина літака стала мішенню для удару [1]. Імовірність влучення птахів у фюзеляж літака складає 11%, у лобове скло – 10%, у крила – 14%.

На цей час через складність аналітичного опису процесу зіткнення птаха з елементами конструкцій літальних апаратів (ЛА) теоретичне обґрунтування конструкторських рішень є недостатнім. Крім того, розробка і застосування нових конструкційних матеріалів, а саме композиційних, є характерною тенденцією розвитку сучасної техніки. У більшості випадків проектування елементів конструкцій літаків здійснюється на основі експериментальних даних, що приводить до значних витрат на натурні випробування. Але застосування теоретичних методів і чисельного експерименту дозволяє розрахунковим шляхом оцінити міцність елементів конструкцій літаків, підібрати їх геометричні та механічні параметри з урахуванням технологічних і експлуатаційних вимог, а також значно скоротити кількість дорогих експериментів та час на проектування авіаційної техніки.

У роботі на основі прийому розширення заданої області запропоновано метод розв'язання задачі про нестационарні коливання шаруватих ортотропних елементів ЛА при зіткненні з птахом. Елемент ЛА розглядається як шарувата композитна оболонка з неканонічною формою плану при імпульсному навантаженні. Імпульсне навантаження, що виникає при зіткненні птаха та елемента ЛА, моделюється за допомогою гідродинамічної теорії [2].

Динамічна поведінка оболонки описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення по товщині й інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару. Згідно з прийомом розширення заданої

області вихідна багатошарова оболонка розширюється до допоміжної багатошарової оболонки з тим же пакетом шарів. Форма і граничні умови допоміжної оболонки обираються таким чином, щоб розв'язок задачі можна було б одержати досить просто. Найбільш простий вигляд розв'язку можна одержати, якщо обрати як допоміжну прямокутну в плані шарнірно оперту оболонку. Це дозволяє подати розв'язок вихідної задачі у вигляді розвинень у тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови шарнірного опирання. Виконано тестування запропонованого методу і розв'язано задачі про визначення параметрів динамічного напружено-деформованого стану для циліндричних незамкнених оболонок зі складною формою плану. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні композитного крила літака при зіткненні з птахами.

Література

1. Smetankina N. Simulating of bird strike on aircraft laminated glazing / N. Smetankina, A. Malykhina, D. Merkulov // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 304. – P. 01010-01016.
2. Smetankina N. Modelling of Bird Strike on an Aircraft Glazing/ N. Smetankina, I. Kravchenko, V. Merkulov, D. Ivchenko, A. Malykhina // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Editors Mykola Nechyporuk, Vladimir Pavlikov, Dmitriy Kritskiy. – Series “Advances in Intelligent Systems and Computing”. – Vol. 1113. – Springer: Cham, 2020. – P. 289-297.

ВПЛИВ ВКЛЮЧЕННЯ ІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНОГО МАТЕРІАЛУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ОДНОРІДНОЇ ПЛАСТИНИ З КРУГОВИМ ОТВОРОМ

Гарт Е.Л., Терьохін Б.І.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ) відносять до матеріалів з унікальними механічними, технологічними і спеціальними властивостями. Такі матеріали останнім часом все частіше використовуються при виготовленні пластинчато-оболонкових елементів конструкцій нової техніки, зокрема, авіакосмічної. ФГМ мають високу міцність, володіють комплексом властивостей при роботі на удар, знос, втому, можуть витримувати підвищені циклічні і знакозмінні завантаження та ін. Їх особливістю є плавна зміна механічних властивостей і хімічного складу в певному напрямку. Градієнтна структура матеріалів забезпечує підвищення рівня службових властивостей деталей і елементів конструкцій з урахуванням відповідних умов їх експлуатації.

Для виготовлення ФГМ широко застосовуються високоміцні сталі, алюмінієві та титанові сплави, кераміка та ін. Вони можуть використовуватися як у вигляді монолітних матеріалів, так і багатошарових композиційних матеріалів з градієнтною структурою. Градієнт властивостей дозволяє впливати на напружено-деформований стан (НДС) елементів конструкції, зокрема, перешкоджати поширенню тріщин. Така особливість ФГМ робить їх дуже корисними для зниження міжфазних напружень, і тому вони часто застосовуються в аерокосмічній, енергетичній, електронній, хімічній, оптичній, біомедичній інженерії та ін. [1–3].

У даній роботі проведено комп'ютерне моделювання поведінки тонкої ізотропної однорідної прямокутної пластини розмірами $a \times b$ з центрально розташованим круговим отвором радіусу R та кільцевим включенням радіусу R_1 за дії одновісного рівномірного розтягувального навантаження $p = const$. Вважалося, що включення

змодельовано вставкою, яка розташована у площині пластини і має однакову з нею товщину; на границі включення задано умови жорсткого зчеплення.

Розглянуто такі випадки включень: 1) із однорідного матеріалу ($E_{вкл} = 0,5E_0$, E_0 – модуль пружності матеріалу пластини), 2) із ФГМ, що має радіальні довільні пружні властивості за лінійним і нелінійним законами змінення модуля пружності.

Числовий аналіз здійснено для трьох модельних матеріалів включення: з однаковим коефіцієнтом Пуассона $\nu_0 = 0,25$, але з різними модулями пружності. Закони змінення модуля пружності (рис. 1) аналогічні [2] з тією різницею, що модуль пружності включення тут менший, ніж для пластини, та неперервно зростає радіально від краю отвору.

На рис. 1 по осі абсцис відкладено нормалізовану параметричну відстань $0 \leq l \leq 1$ в радіальному напрямку від центру отвору по ширині включення $h_{вкл} = R_1 - R$: $l = (r - R) / (R_1 - R)$, де r – відстань від центру отвору до довільної точки включення.

Числові дослідження проведено для квадратних пластин товщини $h=0,01$ м зі стороною $a=b=0,2$ м, радіус кругового отвору $R=a/20$, ширина включення R і $2R$, розтягувальне навантаження $p = 10$ МПа.

У результаті проведених обчислювальних експериментів на основі методу скінченних елементів отримано розподіл інтенсивностей напружень і деформацій в пластині. Знайдено коефіцієнт концентрації напружень (ККН) при одновісному розтягуванні пластини при ширині включення R і $2R$, відповідні результати наведено в табл. 1 і табл. 2.

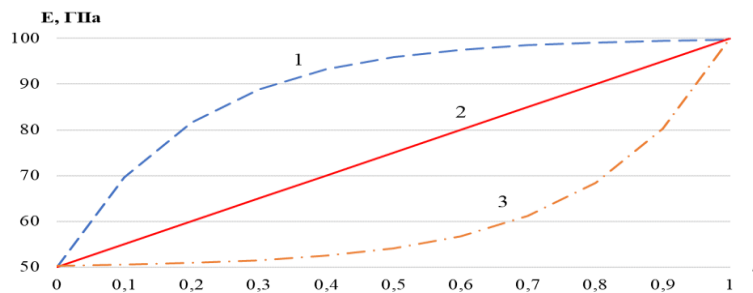


Рис. 1 – Закони змінення модуля пружності ФГМ-включення

Таблиця 1 – Коефіцієнт концентрації напружень та відповідні деформації в пластині при $h_{вкл}=R$

Задача	ККН	δ_1 , %	ε_i^{\max} , 10^{-4}	δ_2 , %
Включення з однорідного матеріалу	2,03	-33,6	2,84	+33,3
ФГМ-включення 1	2,11	-30,9	2,45	+15,0
ФГМ-включення 2	1,96	-35,9	2,62	+23,0
ФГМ-включення 3	1,99	-35,1	2,76	+29,6

Тут δ_1 і δ_2 – відхилення ККН і максимального значення інтенсивності деформацій ε_i^{\max} від відповідного значення для пластини без включення (ККН=3).

Значення ККН у пластині при наявності кільцевого включення ширини R з «м'якого» однорідного матеріалу та ФГМ-включення відрізняються лише на $\sim 2\%$, проте максимальні деформації в разі ФГМ-включень значно менші у порівнянні з

випадком однорідного включення, зокрема, для ФГМ-включення 2 відмінність більш ніж в 1,4 рази, а для ФГМ-включення 1 – більш ніж в 2 рази.

Як видно з рис. 2, при наявності включень із ФГМ напруження в перерізі AB більше, ніж для включення з однорідного матеріалу. Причому за характером розподілу напружень ФГМ-включення 3 практично ідентично «м'якому» включенню з однорідного матеріалу. Характер розподілу напружень в ФГМ-включенні 2 є близьким до параболічної закономірності, а в ФГМ-включенні 1 – до лінійної, причому в останньому випадку має місце механічний ефект: на стику включення і матриці можна спостерігати деяке зменшення (на $\sim 11\%$) відносної величини напруження σ_y/ρ у порівнянні з однорідним включенням.

Результати аналогічних розрахунків, проведених для пластини з шириною включення $2R$, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнт концентрації напружень та відповідні деформації в пластині при $h_{\text{вкл}}=2R$

Задача	ККН	$\delta_1, \%$	$\varepsilon_i^{\text{max}}, 10^{-4}$	$\delta_2, \%$
Включення однорідного матеріалу ³	2,25	-26,4	3,14	+47,4
ФГМ-включення 1	2,05	-33,1	2,54	+19,3
ФГМ-включення 2	2,03	-33,7	2,75	+29,1
ФГМ-включення 3	2,11	-30,9	2,92	+37,1

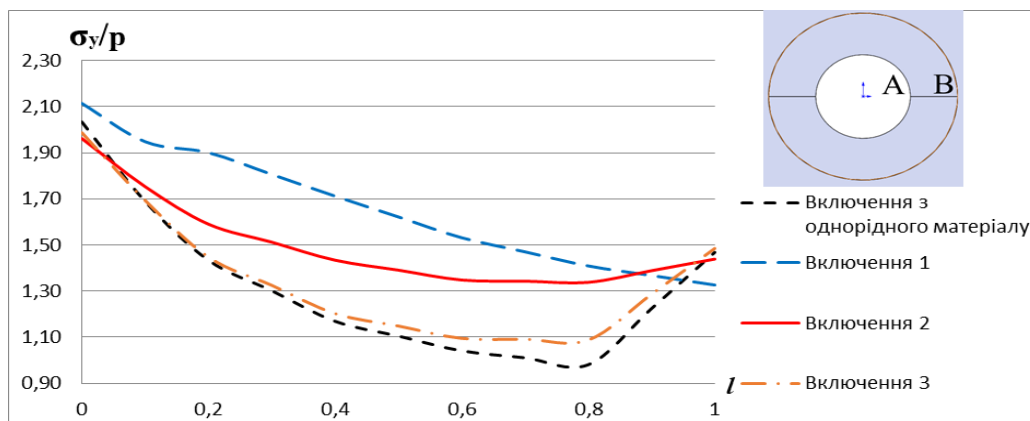


Рис. 2 – Розподіл відносних напружень σ_y/ρ по ширині включення в перерізі AB при $h_{\text{вкл}}=R$

Із табл. 2 видно, що в разі кільцевого включення ширини $2R$ із ФГМ максимальні деформації і ККН в пластині з отвором менші, ніж при наявності «м'якого» однорідного включення: для ФГМ-включення 2 відмінність максимальних деформацій становить в $\sim 1,6$ рази, для ФГМ-включення 1 – в $\sim 2,5$ рази; відмінність ККН – на $\sim 7\%$ в обох випадках.

При наявності включень із ФГМ ширини $2R$ відбувається перерозподіл напружень уздовж перерізу AB – від краю включення до його середньої частини. Характер розподілу напружень в даному випадку відрізняється від випадку $h_{\text{вкл}}=R$: для ФГМ-включення 3 він близький до параболічної закономірності.

Таким чином, у результаті проведеного числового дослідження встановлено, що за наявності ФГМ-включень з певними механічними властивостями і геометричними параметрами виникає можливість впливати не тільки на величину ККН в пластині поблизу локальних концентраторів напружень, а й на напруження по ширині включення.

Література

1. Аналитические решения смешанных осесимметричных задач для функционально-градиентных сред / С.М. Айзикович [и др.]. – М.: Физматлит, 2011. – 192 с.
2. *Гарт Е. Л., Терьохін Б. І.* Концентрація напружень в однорідній пластині з круговим отвором, підкріпленою включенням із функціонально-градієнтного матеріалу // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні ІТММ'2021: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (16–18 березня 2021 р., Дніпро). – Дніпро: НМетАУ, 2021. – С. 110–115. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.013>
3. *Yang Q., Gao C.-F., Chen W.* Stress analysis of a functional graded material plate with a circular hole // Arch. Appl. Mech. – 2010. – Vol. 80. – P. 895-907. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00419-009-0349-3>

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ І ФОРМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ШЕСТИКУТНОЇ ПЛАСТИНИ З ВІЛЬНИМИ КРАЯМИ

Григоренко О.Я.¹, Борисенко М.Ю.¹, Бойчук О.В.², Васильєва Л.Я.³

¹*Ін-т механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України, Київ,*

²*Миколаївський нац. аграрний ун-т, Миколаїв,*

³*Миколаївський нац. ун-т ім. В.О. Сухомлинського, Миколаїв.*

При проектуванні різних споруд, будівель, корпусів машин та конструкцій широко застосовують пластини різної форми. Необхідно мати інформацію про розподіл частот і форм вільних коливань таких пластинчастих елементів, оскільки в реальних умовах експлуатації потрібно уникати резонансних режимів. Постає актуальна проблема механіки про поширення аналітичних, чисельних та експериментальних методів до розв'язання задач динаміки пластин різної форми. Одним із методів розв'язування задач динаміки є метод скінченних елементів (МСЕ), який лежить в основі багатьох інженерних програмних комплексів. Одним з таких комплексів є система автоматизованого конструювання FEMAP з розв'язувачем NX Nastran. Даний програмний засіб апробовано на великій кількості задач з визначення частот і форм вільних коливань пластин з вільними краями [1, 2, 3] та жорстко закріпленними краями [3, 4]. Результати, отримані чисельно за допомогою FEMAP, добре узгоджуються з результатами, отриманими експериментально [4].

Метою даного повідомлення є визначення за допомогою МСЕ частот та форм вільних коливань ізотропної тонкої шестикутної пластини з вільними краями. Геометрія шестикутної пластини, фізико-механічні характеристики матеріалу та розбивка скінченними елементами обрані у відповідності до пластини розглянутої в [3] за умови еквівалентності мас. В результаті дослідження отримані частоти та форми вільних коливань шестикутної пластини з вільними краями. Встановлена топологія форм коливань пластин (рис. 1) у відповідності до чотирикутної та п'ятикутної пластин з вільними краями [1, 3].

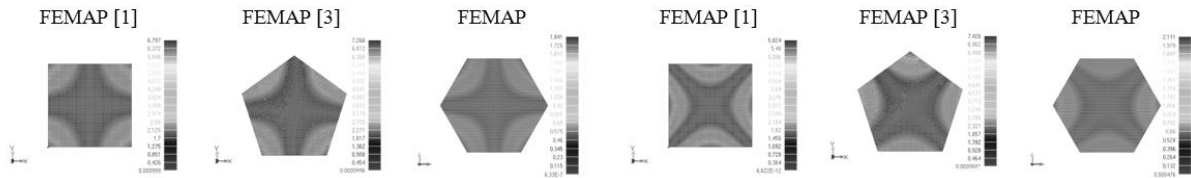


Рис. 1. Топологія перших двох форм коливань пластин

Література

1. *Борисенко М.Ю.* Комп'ютерне моделювання вільних коливань тонких пластин з різних матеріалів / М.Ю. Борисенко, О.В. Бойчук, І.А. Борисенко, Ю.О. Роговцов // Геометричне моделювання та інформаційні технології, 2016. – №2. – С. 29-33.
2. *Borysenko M.* Numerical analysis of frequencies and forms of own collars of different forms with free zone / M. Borysenko, A. Zavhorodnii, R. Skupskyi // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 2019. – Vol.18, №1, – P. 5-13.
3. *Григоренко О.Я.* Визначення частот і форм вільних коливань п'ятикутних пластин методом скінченних елементів / О.Я. Григоренко, М.Ю. Борисенко, О.В. Бойчук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія: «Фізико-математичні науки», 2020. – 1-2. – С. 61-66.
4. *Григоренко О.Я.* Застосування експериментального і чисельного методів до дослідження вільних коливань прямокутних пластин / О.Я. Григоренко, М.Ю. Борисенко, Е.В. Бойчук, В.С. Новицький // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, 2019. – №29. – С. 103-112.

ЗЧЕПЛЕНИЙ ТА ГЛАДКИЙ ШТАМПИ НА ГРАНИЦІ ПРУЖНОЇ ІЗОТРОПНОЇ ПІВПЛОЩИНИ

Шевельова Н.В., Ходанен Т.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Розглянуто проблему взаємодії двох штампів з плоскими підшвами, що вдавлюються у пружну ізотропну півплощину. Вважається, що один штамп жорстко зчеплений із півплощиною, а другий знаходиться з нею в умовах гладкого контакту. Для розв'язання задачі використовуються представлення Колосова-Мусхелішвілі напружень і переміщень через кусково-аналітичні функції, які на границі півплощини мають вигляд

$$\sigma_y^- - i\tau_{xy}^- = \Phi^-(x) - \Phi^+(x), \quad (1)$$

$$2\mu(u' + iv')^- = \kappa\Phi^-(x) + \Phi^+(x), \quad (2)$$

де $\kappa = 3 - 4\nu$, μ і ν - модуль зсуву і коефіцієнт Пуассона матеріалу півплощини, $\Phi(z)$ функція, аналітична в площині комплексної змінної з розрізами вздовж основ штампів. З використанням співвідношень (1), (2) на основі граничних умов сформульовано задачу лінійного спряження, яка складається із комбінації рівнянь Діріхле і Рімана, записаних на відповідних ділянках границі півплощини. Ця задача називається комбінованою крайовою задачею Діріхле-Рімана. Розв'язок задачі представлено через два канонічні розв'язки з необхідною поведінкою при підході до кутових точок штампів. Невідомі коефіцієнти, що входять до цього розв'язку, визначаються з умов на нескінченності та умов рівноваги штампів із трансцендентного рівняння шляхом чисельного інтегрування.

Отриманий розв'язок дозволив представити усі необхідні фактори на границі

півплощини в досить простому аналітичному вигляді. Зокрема, одержано формули, які дають можливість знайти осадку кожного штампу та форму вільної границі півплощини після деформації. Записано також формули для визначення розподілу напружень під штампами. Отриманий розв'язок біля кутових точок жорстко зчепленого штампа має осцилюючу кореневу особливість, а біля кутових точок гладкого штампу – звичайну кореневу.

Для конкретних значень ширини штампів, відстаней між ними та величин зовнішнього навантаження одержано числові результати, які проілюстровано графічно. Побудовано графіки зміни переміщень границі півплощини біля штампів, а також графіки зміни нормального та дотичного напружень під зчепленим штампом і тільки нормального – під гладким. Виявлено, що зона затухання переміщень при віддаленні від штампів суттєво перевищує їх ширину.

ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРА ШАРУВАТОСТІ НА ФАЗОВУ ШВИДКІСТЬ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ХВИЛЬ В КОМПОЗИТНОМУ МАТЕРІАЛІ

Глухов А. Ю.

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Наукове обґрунтування засад і принципів конструювання композитів є передумовою створення матеріалів з наперед заданими властивостями, які значно перевершують властивості класичних матеріалів або взагалі відсутні в них. Це зумовлює значний інтерес до дослідження широкого кола наукових проблем, що стосуються композитних матеріалів. Одна з таких проблем – дослідження процесів, пов'язаних з поширенням пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями

Розглядається композитний нестисливий матеріал, що має періодичну структуру і складається з шарів двох типів, що чергуються. Для кожного типу шарів матеріали і початкові напружено-деформовані стани є однаковими. Початковий напружений стан шарів є однорідним і симетричним. Постановка задачі відповідає постановці, розглянутій в роботі [1].

У широкому діапазоні значень частоти проведені чисельні дослідження дисперсійних співвідношень для квазіпоперечної хвилі, що поширюється уздовж шарів.

Досліджено вплив параметра шаруватості (співвідношення товщин шарів композитного матеріалу) на фазові швидкості поширення вісесиметричних пружних хвиль в шаруватому композитному нестисливому матеріалі при проковзуванні шарів.

Дослідження проведені в рамках тривимірної лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [2].

Проведені теоретичні дослідження та аналіз отриманих чисельних результатів дозволяють зробити наступні висновки:

- при зміні відношення товщини шарів змінюються як критичні частоти, так і характер залежності фазової швидкості від частоти і від початкових напружень;
- залежність фазової швидкості від параметра шаруватості для кожної моди визначається діапазоном частот;
- кожна мода має діапазон частот, в якому зміна фазової швидкості істотно залежить від співвідношення товщини шарів композитного матеріалу;
- існують частоти, при яких товщина шарів композитного матеріалу не впливає на значення фазової швидкості;

- при досягненні параметром шаруватості певного мінімального значення фазова швидкість змінюється несуттєво;
- при відповідній довжині хвилі в нестисливому композитному матеріалі, що складається з однакових по товщині шарів, фазова швидкість поширення квазіпоперечної хвилі дуже мало залежить від товщини шарів.

Література

1. Глухов А.Ю. Осесимметричные волны в композитных несжимаемых материалах с начальными напряжениями /Глухов А.Ю.// Прикладная механика, 2018, том 54, № 4, с.35 - 46.
2. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями. – Киев: “А.С.К”, 2004. – 672 с.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СПЛАЙН-АПРОКСИМАЦІЇ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ ПРО ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ШАРУВАТИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК З РІЗНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ОРТОТРОПІЇ В УТОЧНЕНІЙ ПОСТАНОВЦІ

Григоренко О. Я. ¹, Пархоменко О. Ю. ², Васильєва Л. Я. ²

¹*Інститут механіки імені С. П. Тимошенка НАН України*

²*Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*

Шаруваті пологі оболонки, що виготовлені із сучасних композитних матеріалів та характеризуються анізотропією і неоднорідністю механічних властивостей різних шарів, широко використовуються в якості конструктивних елементів в багатьох галузях будівництва та техніки. Для оцінки міцності та надійності таких конструкцій необхідно мати інформацію, зокрема, про частоти їх вільних коливань. Це вимагає розроблення ефективних чисельно-аналітичних методів розрахунку, що дозволяють враховувати, в тому числі, поперечні деформації і напруження, якими нехтує класична теорія.

В уточненій теорії за вихідні приймаються гіпотези Тимошенка-Міндліна: спочатку прямолінійний елемент нормалі після деформації зберігає свою довжину і прямолінійність, але не залишається перпендикулярним до серединної поверхні.

Одним з ефективних чисельних підходів до розв'язання задач вказаного класу є використання методу сплайн-апроксимації. Вихідна задача описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних десятого порядку зі змінними коефіцієнтами і відповідними крайовими умовами на контурах оболонок. Для її розв'язання пропонується чисельно-аналітичний підхід, що базується на зведенні двомірної крайової задачі до системи звичайних диференціальних рівнянь за допомогою метода сплайн-апроксимації невідомих функцій в одному з координатних напрямків.

Апроксимація функцій відбувається за допомогою лінійних комбінацій B -сплайнів на рівномірній сітці $\Delta: 0 = y_0 < y_1 < \dots < y_N = b$, так, щоб вони задовольняли граничним умовам на контурах $y = 0$ та $y = b$. В систему рівнянь поперечних коливань оболонок входять похідні функцій по координаті y не вище другого порядку, тому можна обмежитись апроксимацією сплайн-функціями третьої степені. Використовуючи сплайни вищих степенів, можна отримати більший порядок точності. Також

збільшення порядку точності методу досягалось за рахунок спеціального вибору вузлів колокації шляхом спеціального способу розташування точок колокації.

Отримана одномірна крайова задача розв'язується стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації.

З застосуванням запропонованого підходу було розглянуто спектр власних коливань тришарових пологих оболонок з різними параметрами ортотропії в некласичній постановці. Передбачалось, що шари оболонок переміщуються спільно, без відриву і ковзання, а також симетричні відносно серединної поверхні структури.

Досліджено прямокутні в плані пологі оболонки, верхній і нижній шари яких мають відмінний від внутрішнього шару параметр ортотропії, при цьому товщина середнього шару $0,4h$, а верхнього і нижнього – $0,3h$, де h – товщина оболонки. Розглядалися різні типи закріплення контурів. Проаналізовано графіки залежності власних частот коливань тришарових прямокутних в плані пологих оболонок від механічних параметрів окремих шарів при різному співвідношенні їх лінійних розмірів, а також від ступеня пологості.

ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СКЛАДЕНОГО ОДНОМІРНОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО КВАЗИКРИСТАЛА З МІЖФАЗНОЮ ТРІЩИНОЮ

Білий Д.В., Комаров О.В., Лобода В.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Розглянуто тунельну тріщину вздовж межі розділу двох зчеплених одновимірних п'єзоелектричних квазикристалічних півпросторів. Вважається, що мають місце провідні електричні умови на берегах тріщини, а розташування атомів є періодичним у площині, перпендикулярній фронту тріщини та квазіперіодичним у напрямі співнаправленим з фронтом, причому, остання вісь співпадає з напрямком поляризації матеріалів. Рівномірно розподілені антиплоскі фононні та фазонні зсувні напруження та електричне поле в площині, перпендикулярній фронту тріщини, задані на нескінченності.

Побудовані матрично-векторні представлення для фононних та фазонних напружень та електричного поля, а також для похідних від стрибка фононних та фазонних переміщень та електричного зміщення через вектор-функцію, голоморфну у всій комплексній площині, за винятком області тріщин.

$$r_{j1}\sigma_{23}^{(1)}(x_1, 0) + H_{23}^{(1)}(x_1, 0) + ir_{j3}E_1^{(1)}(x_1, 0) = F_j^+(x_1) + \gamma_j F_j^-(x_1), \quad (1)$$

$$it_{j1}\langle u_3'(x_1) \rangle + it_{j2}\langle w_3'(x_1) \rangle + t_{j3}\langle D_2(x_1) \rangle = F_j^+(x_1) - F_j^-(x_1) \quad (j=1, 3), \quad (2)$$

де σ_{3i} - компоненти фонон напруження; H_{3i} - компоненти фазон напруження; u_3, w_3 - фонон та фазон переміщення, відповідно; $\langle \rangle$ означає стрибок відповідної функції при переході через лінію поділу матеріалів.

Задовольняючи з використанням цих представлень умовам на берегах тріщини, формулюється задача лінійного спряження Рімана-Гільберта з відповідними умовами на нескінченності

$$F_j^+(x_1) + \gamma_j F_j^-(x_1) = 0 \text{ для } c < x_1 < b, \quad (3)$$

$$F_j(z) \Big|_{z \rightarrow \infty} = \tilde{\tau}_j + i\tilde{E}_j \quad (4)$$

та будуватиметься аналітичний розв'язок цієї задачі. Аналізуючи цей розв'язок, отримані аналітичні вирази для фононних та фазонних напружень та стрибків переміщень уздовж границі розділу матеріалів. Показано, що отриманий розв'язок має осцилюючу кореневу сингулярність біля вершин тріщини. Важливо, що ця особливість не призводить до взаємного проникнення берегів тріщини як в плоскому випадку. До того ж області осциляції є дуже малими, тому отримані розв'язки є прийнятними для практичного використання.

Чисельний аналіз проведений для комбінації різних квазікристалічних з'єднань. Результати отримані для фононних та фазонних компонент пружно-деформівного стану вздовж межі поділу матеріалів і представлені в графічній формі. Зроблені висновки стосовно зміни фононних та фазонних характеристик на межі поділу матеріалів в залежності від зовнішніх навантажень та геометричних факторів.

ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТРІЩИНИ МІЖ ДВОМА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Левченко М.С., Лобода В.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Розглядається квадратна пластина розміром 50×50 мм з тріщиною довжини $2b$ в центрі під дією розтягуючого зусилля, що прикладене до двох протилежних зовнішніх граней та електричного зміщення. Верхня частина пластини виготовлена з п'єзоелектричного матеріалу PZT-4, нижня являє собою п'єзоелектрик PZT-5H. Їх фізичні властивості задаються матрицями жорсткості, механічних, п'єзоелектричних та діелектричних констант.

Приймаючи, що розмір тріщини набагато менший розміру пластини спочатку вважалось, що її розмір нескінченно великий. Тобто розглядалась тріщина $-b \leq x_1 \leq b$ між двома напів-нескінченими п'єзокерамічними просторами. Для цієї задачі методом комплексних потенціалів побудовано аналітичний розв'язок. Знайдені аналітичні вирази для напружень та розкриття тріщини.

Був також проведений розрахунок у студентській версії пакету Abaqus. Сітка формувалась з використанням декількох прямокутних підобластей, причому у кожній підобласті з наближенням до тріщини зменшувалися розміри кінцевих елементів (Рис. 1). У підобласті, що знаходилась в околі вершин тріщини також було проведено згущення сітки але сингулярні елементи не використовувались. Розглядалися випадки, коли на верхню грань діє рівномірно розподілене розтягуюче зусилля та електричне зміщення

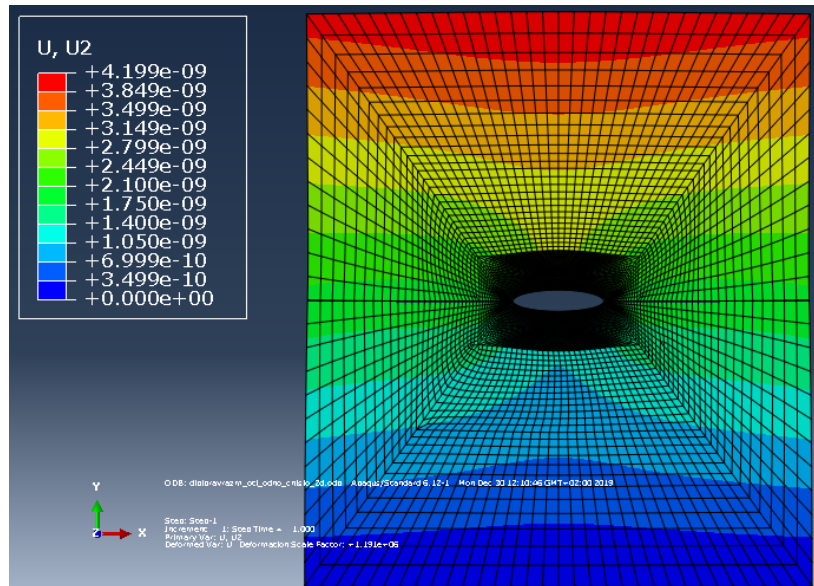


Рис. 1. Розподіл переміщень та розкриття тріщини під дією віддаленого нормального напруження $\sigma = i$ електричному зміщенні

Порівняння результатів розрахунку максимального розкриття тріщини, отриманих аналітично та за допомогою методу скінчених елементів, показало їх добру узгодженість при відносно невеликих довжинах тріщини. Зі збільшенням же відносної довжини тріщини розбіжність аналітичних і чисельних результатів зростає.

ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЙНУВАННЯ ДЛЯ ТРІЩИН НА МЕЖІ ПОДІЛУ МАТЕРІАЛІВ

Міхаїл О.В., Лобода В.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Для тріщини типу I в однорідному матеріалі розглянуті зони ослаблених міжчастинних зв'язків довільної довжини на продовженнях тріщини. Використано відомий аналітичний розв'язок отриманої задачі, наведений в [1]. Обчислено локальну та глобальну [2] швидкості звільнення енергії. Для конкретного матеріалу та зовнішнього навантаження показано, що сума цих значень практично не змінюється зі зміною довжин ослаблених міжчастинних зв'язків.

Аналогічний аналіз проведено для тріщини, при деформації якої визначальними є зсувні напруження. Для цього розглянуто задачу контакту двох ізотропних прямокутників з механічними характеристиками E_1, ν_1 (верхній) і E_2, ν_2 (нижній). Нижній прямокутник жорстко закріплений нижньою стороною, а на сторони верхнього діють нормальні напруження q_1 і q_2 . Вважається, що на частинах $a < |x| < b$ інтерфейсу виникло розшарування, тобто утворились тріщини, які при $q_1 < 0$ відносяться до зсувного типу. Таке розшарування може виникати у зв'язку з високою концентрацією напружень у кутових точках з'єднання, що розглядається. Застосуємо для аналізу цих тріщин модель, аналогічну моделі Леонова-Панасюка-Дагдейла, але в її зсувному варіанті. Введемо на продовженнях тріщин $c < |x| < a$ зони пластичності. Ці зони

будемо моделювати розрізами, в яких діють зсувні напруження величини τ_0 . Положення точок $-c$ і c вибирається довільним.

Розв'язок цієї задачі проведено методом скінченних елементів. Вибрана скінчено-елементна сітка, яка згущується при підході до вершин тріщин. Використані восьмивузлові елементи.

Знайдені локальна і глобальна складові швидкості звільнення енергії для різних значень зсувного напруження в зонах пластичності. Величина цього напруження визначається характеристиками адгезійного шару. Показано, що комбінація складових швидкості звільнення енергії дозволяє без знаходження довжини пластичної зони знайти необхідний критичний параметр, який визначає можливість розвитку тріщини.

Література

1. *Панасюк В. В.* Предельное равновесие хрупких тел с трещинами / В. В. Панасюк. – К.: Наук. думка, 1968. – 248 с.
2. *Gao, H., Zhang, T.Y., Tong, P.,* 1997. Local and global energy release rates for an electrically yielded crack in a piezoelectric ceramic. *J. Mech. and Phys. Solids* 45, 491-510.

NUMERICAL SOLUTION OF ELASTIC-PLASTIC CONTACT PROBLEM

Panin K.

Oles Honchar Dnipro National University

At present, in the formulation of elastic-plastic contact problems, a fairly general formulation of the constitutive relations is used. At the same time, when carrying out numerical calculations, versions of the theory of plasticity are mainly used, which belong to the class of the simplest. However, in some cases when complex loading takes place, this can lead to erroneous results. Then it is necessary to use a version of the theory of plasticity that can more adequately describe this type of loading. One of such versions is the theory of plasticity, which takes into account microstrains (Novozhilov, Kadashevich, Chernyakov). In this theory non-uniform plastic strains caused both by a granular structure of a polycrystal and non-uniform distribution of damages is taken into account in an approximate way by presenting the tensor of plastic strain as a sum of unit plastic strains each of which has a correspondent yield surface and a correspondent system of internal forces. The presented approach has been based upon an assumption that statistics of anisotropic crystals can be replaced by statistics of isotropic particles having various yield limits and random field of micro stresses and micro strains.

A quasi-static problem of the interaction of a rigid flat strip stamp and an elastic-plastic bar of infinite length is considered. The bar lies on a rigid foundation and is inextricably linked with it. The stamp is also inextricably linked with the surface of the timber and can move under the influence of various force factors in the horizontal and vertical directions. The bar consists of a hardening elastic-plastic material. Its physical and mechanical characteristics are considered to be known. The mass forces of the material are not taken into account. It is required to determine the stress-strain state of the bar, as well as the forces acting on the stamp, at an arbitrary moment in time.

Contact problem is formulated as a nonlinear boundary value problem in spatial coordinates and a Cauchy problem in terms of the loading parameter. To solve the Cauchy problem, we used a step method that reduces the solution of the original problem to a sequence of solutions on time layers. At each time step, using an iterative method similar to

the method of variable elastic parameters, the nonlinear boundary-value problem reduces to a sequence of quasilinear ones with defining relations, which are determined by the known velocity field at the previous iteration step. At each iterative step finite element method is used. To calculate the stiffness matrices of finite elements, effective algorithms are proposed that allow decreasing the number of multiple integrals to be calculated in the defining relations of the theory of plasticity, taking into account micro strains up to the dimensionality of the loading trajectory.

Using the proposed algorithm, a number of contact problem were solved. The influence of the loading history on the components of the stress-strain state is investigated. It is shown that in some cases this effect can be significant. The obtained solutions are compared with the results obtained using the deformation theory and the theory of flow with isotropic hardening. It is shown that in the case of complex loading it is necessary to use differential-nonlinear variants of the theory of plasticity, since the simplest variants lead to incorrect results.

ВЛАСНІ ЗНАЧЕННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ

Т.В. Крилова, д.пед.н., професор, ДДТУ, м. Кам'янське,

М.В. Крилова, студентка, ДНУ, м. Дніпро

Багато задач на власні значення є багатопараметричними. Важливо знайти залежність власних значень від параметрів задачі, визначити область розташування та рівняння гіперповерхні власних значень.

***Ключові слова:** власні значення, область розташування, гіперповерхня.*

Дослідження проблем теорії коливань в багатьох випадках зводиться до визначення власних значень і власних функцій крайових задач для диференціальних рівнянь парних порядків. Більшість наближених методів знаходження власних значень достатньо трудомісткі. Тому важливо спочатку знайти область змінювання власних значень. Оскільки багато задач на власні значення є багатопараметричними, тобто задачі на власні значення, в яких досліджується вплив деяких величин, що входять до рівняння, на власні значення, то важливо знайти залежність власних значень від параметрів задачі та визначити область розташування гіперповерхні власних значень.

Одну з перших задач на власні значення ще в 1744 році досліджував Леонард Ейлер при визначенні критичного навантаження для гнучкого стрижня, що працює на стиснення та наражається небезпеці втрати стійкості.

Одними з перших дослідників багато параметричних крайових задач були Лотар Коллатц [1] та Карл П. Хаделер [2]. Вони запропонували класифікацію таких задач, з якою пов'язане важливе питання про області розташування кривих, поверхонь та гіперповерхонь власних значень.

Для визначення власних значень неперервних граничних задач теорії коливань використовуються різні варіаційні методи, метод сіток та методи інтегральних рівнянь. Серйозні труднощі чисельної реалізації варіаційних методів пов'язані з тим, що процес рахування може виявитися нестійким при збільшенні числа координатних функцій. Недоліком варіаційного методу є трудність побудови координатних функцій, які задовольняють заданим граничним умовам. Основний недолік метода сіток – трудомісткість розв'язання систем високих порядків. Із-за труднощі побудови функцій Гріна інтегральні методи не знайшли широкого практичного застосування.

Розроблено велику кількість наближених методів знаходження власних значень. Однак вони достатньо трудомісткі й дозволяють знайти тільки перші власні значення.

Тому визначення власних значень є однією з найбільш важливих та найбільш складних задач.

У зв'язку з проблемою оптимізації особливу увагу привертають багатопараметричні задачі на власні значення, до яких належать задачі про коливання динамічних систем (стрижневі системи, корпуси судів, канатові дороги, різні системи електричних ліній, несучі поверхні літальних апаратів тощо).

Багатопараметричні крайові задачі на власні значення – це задачі, в яких досліджується вплив деяких величин (параметрів), що входять в рівняння, на власні значення.

Знайдемо залежність власних значень від параметрів крайової задачі для диференціальних рівнянь парних порядків.

При дослідженні багатопараметричних задач було з'ясовано, що для спрощення процесу знаходження власних значень слід спочатку визначити область її змінювання.

Нами доведено кілька теорем.

Теорема 1. Крива власних значень двопараметричної крайової задачі

$$\begin{cases} y'' + \mu p(x)y' + \lambda q(x)y = 0, & x \in [0;1], \\ y(0) = y(1) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $p(x), q(x) \in C_{[0,1]}$, розташовуються в області

$$P(\mu) + Q(\lambda) \geq 2,$$

де $P = \max_{x \in [0,1]} \{ (2x^2 - 2x + 1) \cdot |p(x)| \}$, $Q = \max_{x \in [0,1]} \{ x(1-x) \cdot |q(x)| \}$.

Теорема 2. Крива власних значень двопараметричної задачі (1), (2) розташовується в області

$$\begin{aligned} & c_1^2 (a_1 \mu^2 + a_2 \mu \lambda + a_3 \lambda^2) + c_1 c_2 (a_4 \mu^3 + a_5 \lambda \mu^2 + a_6 \lambda^2 \mu + a_7 \lambda^3) + \\ & c_2^2 (a_8 \mu^4 + a_9 \lambda \mu^3 + a_{10} \lambda^2 \mu^2 + a_{11} \mu \lambda^3 + a_{12} \lambda^4) \geq 1, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} a_1 &= p^2/6, & a_2 &= (PQ - pq)/48, & a_3 &= Q^2/90, \\ a_4 &= 31(P^3 - p^3)/12, & a_5 &= 779P^2Q/180 - 155p^2q/36, \\ a_6 &= 77(PQ^2 - pq^2)/30, & a_7 &= 33Q^3/70 - 887q^3/1890, \\ a_8 &= 149P^4/180 - 7p^2q^2/15 + 31p^4, \\ a_9 &= 59P^3Q/18 - 217P^2pq/240 + 133Pp^2Q/144 - 383p^3q/120, \\ a_{10} &= 211P^2Q^2/90 - 691P^2q^2/1440 + 11PpQq/90 + 493p^2Q^2/1080 - 37273p^2q^2/15120, \\ a_{11} &= 235PQ^3/224 - 11PQq^2/567 + 47pQ^2q/2268 - 6353pq^3/6048, \\ a_{12} &= 547Q^4/4536 + 37Q^2q^2/525 - 187q^4/945, & c_1 + c_2 &= 1; & c_1, c_2 &\in R, \\ P &= \max_{x \in [0,1]} p(x), & p &= \min_{x \in [0,1]} p(x), & Q &= \max_{x \in [0,1]} q(x), & q &= \min_{x \in [0,1]} q(x). \end{aligned}$$

Теорема 3. Крива власних значень задачі

$$\begin{cases} y^{(n)} + \mu g(x)y'' + \lambda r(x)y = 0, & x \in [0;1], \\ y(0) = y'(0) = y(1) = y'(1) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де $g(x), r(x) \in C_{[0,1]}$, розташовуються в області $a\lambda^2 + b\lambda\mu + c\mu^2 \geq 1$, де

$$a = 71(\max_{x \in [0,1]} r^2(x))/1746300, b = -(\max_{x \in [0,1]} \{g(x) \cdot r(x)\})/9450, c = -11(\max_{x \in [0,1]} g^2(x))/2100.$$

У частковому випадку, коли $g(x) = 2$, $r(x) = -1$, крива власних значень двопараметричної задачі (3) розташовується в області $166320\mu^2 + 3696\lambda\mu - 13789\lambda^2 \geq 166320$.

Теорема 4. Поверхня власних значень задачі

$$\begin{cases} y'' + \lambda_1 p(x)y'' + \lambda_2 q(x)y'' + \lambda_3 r(x)y = 0, & x \in [0;1], \\ y(0) = y(1) = y'(0) = y'(1) = y''(0) = y''(1) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де $p(x)$, $q(x)$, $r(x) \in C_{[0,1]}$, розташовуються в області $4,1|\lambda_1|P + 0,62|\lambda_2| \cdot Q + 4,17|\lambda_3|R \geq 1$,

де $P = \max_{x \in [0,1]} |p(x)|$, $Q = \max_{x \in [0,1]} |q(x)|$, $R = \max_{x \in [0,1]} |r(x)|$.

При доведенні теорем 1-3 використовували інтегральне представлення розв'язку $y(x)$ задачі (1), (2) у вигляді

$$y(x) = -\int_0^1 K_x(t)y''(t)dt, \text{ де } K_x(t) = t(t-x), \quad t \in [0;x], \quad K_x(t) = x(1-t), \quad t \in [x;1].$$

представлення $y(x)$ задачі (3) у вигляді $y(x) = \int_0^1 M_x(t)y''(t)dt$, де

$$M_x(t) = (1-x)^2(-2x+1)t^3 + 3t^2 - x)/6, \quad t \in [0;x],$$

$$M_x(t) = (t-x)^3/6 - t^3(1-x)^2 + (2x+1)/6 + t^2x \cdot (1-x)^2/2, \quad t \in [x;1],$$

представлення розв'язку $y(x)$ задачі (4) у вигляді

$$y(x) = \int_0^1 M_x(t)y''(t)dt,$$

де

$$M_x(t) = t^5(6x^5 - 15x^4 + 10x^3 - 1)/120 + t^4(-3x^5 + 8x^4 - 6x^3 + x)/24 + t^3(x^5 - 3x^4 + 3x^3 - x^2)/12, \quad t \in [0;x],$$

$$M_x(t) = t^5(6x^5 - 15x^4 + 10x^3)/120 + t^4(-3x^5 + 8x^4 - 6x^3)/24 + t^3(x^5 - 3x^4 + 3x^3)/12 - t^2x^3/12 + tx^4/24 - x^5/120, \quad t \in [x;1].$$

Після встановлення областей змінювання власних значень та параметрів крайових задач слід знайти рівняння кривих або поверхонь власних значень крайових задач. З цією метою використовуємо розроблений Криловою Т.В., Лигуном А.О. [3,4] двоетапний метод сплайн-колокації з оптимізацією вузлів сплайна.

На першому етапі представляємо наближений розв'язок $\bar{y}(x)$ крайової задачі в якому-небудь вигляді з невеликою кількістю N вузлів, а на другому етапі визначаємо асимптотично оптимальні вузли x_k^* , $k = \overline{0, n}$, обираючи $n \gg N$.

Наприклад, для задачі (1), (2) наближений розв'язок $\bar{y}(x)$ можна представити у вигляді кубічного сплайна

$$\bar{y}(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \sum_{i=0}^{N-1} b_i(x-x_i)_+^3$$

по розбиттю

$$\Delta_N = \{0 = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_N = 1\},$$

причому розбиття зручніше обирати рівномірним, тобто $x_i = ih$, $i = \overline{0, N}$, $h = \frac{1}{N}$.

Для знаходження $N+3$ невідомих коефіцієнтів $a_0, a_1, a_2, b_i, i = \overline{0, N-1}$ використовуємо крайові умови (2) та здійснюємо колокацію в $N+1$ точці відрізка $[0; 1]$. В якості точок колокації можна обрати вузли $x_i, i = \overline{0, N}$ сплайна. В результаті одержимо алгебраїчну однорідну лінійну систему $N+3$ рівнянь відносно $N+3$ невідомих коефіцієнтів $a_0, a_1, a_2, b_i, i = \overline{0, N-1}$. Одержана система має ненульовий розв'язок, якщо її головний визначник дорівнює нулю. Дорівнюючи цей визначник до нуля, одержимо рівняння $f(\lambda, \mu) = 0$ кривої власних значень двопараметричної задачі (1), (2).

На другому етапі розв'язання задачі (1), (2) для уточнення зв'язку між власним значенням λ і параметром μ для обраної сукупності точок $(\lambda_k, \mu_k), k = \overline{0, 1, 2, \dots}$ кривої $f(\lambda, \mu) = 0$ визначаємо коефіцієнти $a_0, a_1, a_2, b_i, i = \overline{0, N-1}$ та оптимізуємо розбиття, побудувавши більш тонку сітку

$$\Delta_n^* = \{0 = x_0^* < x_1^* < x_2^* < \dots < x_n^* = 1\},$$

причому $n \gg N$.

Асимптотично оптимальні вузли $x_k^*, k = \overline{1, n-1}$ визначаємо із рівностей

$$\int_0^{x_k^*} \sqrt[4]{|y^{(IV)}(x)|} dx = \frac{k}{n} \int_0^1 \sqrt[4]{|y^{(IV)}(x)|} dx, \quad k = \overline{0, n},$$

де $y^{(IV)}(x_j) = (y''(x_{j-1}) - 2y''(x_j) + y''(x_{j+1}))/h^2, \quad j = \overline{1, N-1}$.

Наближений розв'язок $\bar{y}(x)$ задачі (1), (2) представляємо у вигляді інтерполяційного напруженого сплайна по розбиттю Δ_n^*

$$\begin{aligned} \bar{y}(x) = & \sum_{k=1}^n (A_k(x-x_{k-1}^*)/h_k + B_k(x_k^*-x)/h_k + C_k(ch\alpha(x-t_k^*) - ch(ch_k/2))/\alpha + \\ & + D_k(sh\alpha(x-t_k^*) - 2(x-t_k^*)sh(ch_k/2))/\alpha, \end{aligned}$$

де $h_k = x_k^* - x_{k-1}^*, \quad t_k^* = (x_k^* + x_{k-1}^*)/2, \quad k = \overline{1, n}$.

Для знаходження $4n$ невідомих коефіцієнтів $A_k, B_k, C_k, D_k, k = \overline{1, n}$ та одного параметра α використовуємо крайові умови (2) та здійснюємо колокацію у $4n-1$ точках. В якості точок колокації можна обрати внутрішні вузли $\Delta_k^*, k = \overline{1, n-1}$ сплайна та $3n$ точок $\xi_{km}, k = \overline{1, n-1}, m = \overline{1, 2, 3}: x_k^* < \xi_{k1} < \xi_{k2} < \xi_{k3} < x_{k+1}^*$.

В результаті одержимо алгебраїчну лінійну однорідну систему $4n+1$ рівнянь відносно $4n+1$ невідомих $\alpha, A_k, B_k, C_k, D_k, k = \overline{1, n}$.

Дорівнюючи до нуля визначник цієї системи, будемо мати уточнене рівняння кривої власних значень задачі (1), (2).

Для відшукування рівняння кривої власних значень задачі (3) та рівняння поверхні власних значень задачі (4) робимо аналогічним чином.

Для задачі (3) \bar{y} шукаємо, наприклад, у вигляді

$$\bar{y} = \sum_{j=0}^5 a_j x^j + \sum_{k=1}^{N-1} b_k (x-x_k)^5_+$$

по розбиттю

$$\Delta_N = \{0 = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_N = 1\}.$$

Для уточнення розв'язку оптимізуємо розбиття, використовуючи рівності

$$\int_0^{x_k^*} \sqrt[6]{|y^{VI}(x)|} dx = \frac{k}{n} \int_0^1 \sqrt[6]{|y^{VI}(x)|} dx, \quad k = \overline{0, n},$$

де

$$\overline{y}^{VI}(x_i) = (\overline{y}^{IV}(x_{i-1}) - 2\overline{y}^{IV}(x_i) + \overline{y}^{IV}(x_{i+1})) / h^2, \quad i = \overline{1, N-1}, \quad h = 1/N.$$

Наближений розв'язок $\overline{y}(x)$ задачі (4) представляємо або у вигляді тригонометричного сплайна [5], або у вигляді інтерполяційного сплайна [6].

$$\overline{y}(x) = A_0 + \sum_{k=1}^n (A_k(x - x_{k-1}^*)_+ + B_k(x_k^* - x)_+ + C_k\varphi_k(x) + D_k\psi_k(x))$$

(для інтерполяційного тригонометричного сплайна

$$\varphi_k(x) = \cos \gamma_k(x - t_k)_+, \quad \psi_k(x) = \sin \gamma_k(x - t_k)_+,$$

для інтерполяційного напруженого сплайна

$$\varphi_k(x) = ch\theta_k(x - t_k)_+, \quad \psi_k(x) = sh\theta_k(x - t_k)_+,$$

де

$$\gamma_k = \sqrt{-\overline{y}^{IV}(t_k) / \overline{y}''(t_k)}, \quad \theta_k = \sqrt{\overline{y}^{IV}(t_k) / \overline{y}''(t_k)}, \quad t_k = (x_{k-1}^* + x_k^*) / 2, \quad k = \overline{1, n}.$$

Тригонометричний сплайн застосовуємо, коли $\overline{y}''(x) \cdot \overline{y}^{IV}(x) < 0$, а напружений сплайн, коли $\overline{y}''(x) \cdot \overline{y}^{IV}(x) > 0$.

Для задачі (2) \overline{y} шукаємо, наприклад у вигляді

$$\overline{y} = \sum_{k=0}^6 a_k x^k + \sum_{i=1}^{N-1} b_i (x - x_i)_+^7,$$

$$x_i = ih, \quad i = \overline{0, N-1}, \quad h = 1/N.$$

Асимптотично оптимальні вузли x_k^* , $k = \overline{1, n-1}$ $n \gg N$ визначаємо з рівностей

$$\int_0^{x_k^*} |y^{VIII}(x)|^{1/8} dx = \frac{k}{n} \int_0^1 |y^{VIII}(x)|^{1/8} dx, \quad k = \overline{0, n}$$

та уточнений розв'язок $\overline{y}(x)$ шукаємо або у вигляді інтерполяційного напруженого сплайна, або у вигляді інтерполяційного тригонометричного сплайна в залежності від знака $\overline{y}''(x) \cdot \overline{y}^{IV}(x)$.

Якщо потрібно, ще раз уточнюємо розв'язок.

Розглянемо трьохпараметричну задачу на власні значення. Нехай стрижень змінного перерізу з нижнім зацепленим і верхнім вільним кінцями одночасно згинається поздовжньою силою P , що прикладена до вільного кінця, та поздовжнім навантаженням інтенсивності $q(x)$, яка розподілена впродовж довжини стрижня за законом

$$q(x) = q^* \left(\frac{x}{e}\right)^b,$$

де e – довжина стрижня. Тоді крайова задача формулюється наступним чином

$$\begin{cases} (EI(x)y''(x))' + (P + S(x))y'(x) = 0, \\ y(e) = y'(e) = y''(0) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

де $I(x) = I^* \left(\frac{x}{l}\right)^r$ – закон змінювання моменту інерції поперечного перерізу стрижня, тобто момент інерції перерізу, що знаходиться на відстані x від будь-якого опорного перерізу, I^* – момент інерції якого-небудь (фіксованого) перерізу стрижня, E – модуль пружності матеріалу, $S(x) = \int_0^x q(x) dx$.

Введемо позначення

$$EI^* = \lambda_1, P = \lambda_2, q^* = \lambda_3.$$

Розглянемо області розташування поверхні власних значень. Допоміжна функція має вигляд

$$\begin{aligned} \varphi_y(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = & \lambda_1 \int_0^l \left(\frac{x}{l}\right)^r y'''(x)y(x) dx + \frac{\lambda_1 r}{l^r} \int_0^l x^{r-1} y''(x)y(x) dx + \lambda_2 \int_0^l y'(x)y(x) dx + \\ & + \frac{\lambda_3}{l^k(k+1)} \int_0^l x^{k+1} y'(x)y(x) dx, \end{aligned}$$

$$\text{або всіх обчислень } \varphi_y(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \frac{\lambda_1 r}{2l^r} \int_0^l x^{r-1} (y'(x))^2 dx - \frac{\lambda_2}{2} y^2(0) - \frac{\lambda_3}{2l^k} \int_0^l x^k y^2(x) dx.$$

Дослідження доводять, що тип задачі (5) за класифікацією Коллатца-Хаделера гіперболічний і поверхня власних значень розташовується поза області

$$\lambda_1 > 0, \lambda_2 < 0, \lambda_3 < 0; \lambda_1 < 0, \lambda_2 > 0, \lambda_3 > 0. \quad (6)$$

Для наближеного розв'язання задачі застосуємо метод колокації.

Наближений розв'язок шукаємо у вигляді

$$y_m = \sum_{j=1}^m a_j \cdot \sin \frac{2j-1}{l} \pi x \cdot \cos \frac{2j-1}{2l} \pi x.$$

Обмежимося третім наближенням. В методі колокації для забезпечення збіжності процесу в якості точок колокації було обрано абсциси Гаусса.

Для знаходження шуканих коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 одержано систему однорідних лінійних алгебраїчних рівнянь. Рівність до нуля визначника системи дає рівнянням поверхні власних значень

$$\begin{aligned} 27920504,50345\lambda_1^3 - 7130795,15633\lambda_1^2\lambda_2 - 204819,14556\lambda_1^2\lambda_3 + 15825,12333\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \\ 83511,13451\lambda_1\lambda_2^2 + 1894,51234\lambda_1\lambda_3^2 - 62,56171\lambda_2^2\lambda_3 - 118,12356\lambda_2^3 - 30,10563\lambda_2\lambda_3^2 - 3,42511\lambda_3^3 = 0. \end{aligned}$$

Частковий випадок цієї задачі при одному параметрі P був розв'язаний в роботі [7].

Методика відшукування залежності між власними значеннями та параметрами багатопараметричної крайової задачі, що складається з визначення області розташування кривої, поверхні або гіперповерхні власних значень та використання двоетапного методу сплайн-колокації, може бути застосованою не тільки для наближеного розв'язання неперервних крайових задач, але й для наближеного розв'язування стаціонарних й нестаціонарних, неперервних й неперервно дискретних, лінійних та нелінійних відносно параметра багато параметричних граничних задач на власні значення.

Література

1. Коллатц Л. Задачи на собственные значения. М.:Наука, 1968. 504 с.

2. Haderer K.P. Einige Anwendungen mehrparametrischer Eigenwertaufgaben. Numer. Math., 13, 1969. P. 285 – 292.
3. Крылова Т.В., Лигун А.А. Выбор узлов сплайна для приближенного решения дифференциальных уравнений. Известия вузов. Математика, №9, 1985. С. 27-31.
4. Крылова Т.В., Лигун А.А. Об одном способе построения схем повышенной точности решения краевой задачи с помощью сплайнов: труды VIII школы по теории операторов в функциональных пространствах, Рига, 1983. С. 132-133.
5. Крылова Т.В. Применение тригонометрических сплайнов для приближенного решения краевых задач: матеріали VI міжнар. наук. конф. ім. акад. М. Кравчука, – К.: «ВІПОЛ», 1997. С. 228.
6. Крылова Т.В. Приближенное решение краевой задачи с помощью напряженных сплайнов: тез. докл. междунар. конф. Modelling and investigation of systems stability, Systems Investigation. К.: ІБЦ Мінстату України, 1997. С. 60.
7. Микеладзе Ш.Е. Новые методы интегрирования дифференциальных уравнений и их приложения к задачам теории упругости. М.–Л., ИТТЛ, 1951. 292 с.

ПОВЕДІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНО НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗНАЧНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ

Стеблянко П.О.¹, Демичев К.Е.², Петров О.Д.³

¹Університет митної справи та фінансів,

²Київський міжнародний університет,

³Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Робота присвячена проблемі моделювання поведінки функціонально неоднорідних матеріалів з властивостями псевдо-пружно-пластичності при складних навантаженнях, зокрема при великих деформаціях (до 20%), коли при вирішенні задач потрібно враховувати і геометричну нелінійність. У попередніх роботах авторів функціонально неоднорідні матеріали досліджувалися в геометрично лінійній постановці, що є справедливим при деформаціях до 7% [1-3]. При прогнозуванні роботи матеріалу в разі великих деформацій необхідно враховувати геометричну нелінійність як в співвідношеннях Коші, так і в рівняннях руху. При побудові фізичних співвідношень передбачається, що деформація в точці представлена як сума пружною складової, стрибка деформації при фазовому переході, пластичної деформації і деформації, викликана змінами температури.

Рівняння руху нескінченно малого об'ємного елемента суцільного середовища, що деформується, в ортогональній системі координат в геометрично нелінійній постановці представимо у вигляді [4].

$$\frac{\partial v_j}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \alpha^i} \left(\sigma_{ij} + \sigma_{in}^0 \frac{\partial u_i}{\partial \alpha^n} \right) + B(\sigma_{mn}; \dots), i, j, n, m = 1; 2; 3. \quad (1)$$

В рамках запропонованого підходу будемо використовувати і лінійні рівняння руху нескінченно малого об'ємного елемента суцільного середовища, що деформується. В формулах (1) через $\sigma_{ij}^0; v_j^0$ позначено невідомі, які розшуковуються за допомогою геометрично лінійного підходу, для якого рівняння (1) має вигляд

$$\frac{\partial v_i^0}{\partial t} = \frac{1}{\rho H_j} \cdot \frac{\partial \sigma_{ij}^0}{\partial \alpha^j} + B_i(\sigma_{mn}), \quad v_i = \frac{\partial u_i}{\partial t}, \quad i = 1, 2, 3.$$

В загальному випадку ортогональної системи координат тензор деформації і складові вектора переміщень пов'язані такими нелінійними співвідношеннями

$$\varepsilon_{11} = e_{11} + \frac{1}{2} \left[e_{11}^2 + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right)^2 + \left(\frac{e_{13}}{2} - \omega_2 \right)^2 \right];$$

$$\varepsilon_{12} = e_{12} + e_{11} \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) + e_{22} \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) + \left(\frac{e_{13}}{2} - \omega_2 \right) \left(\frac{e_{23}}{2} + \omega_1 \right).$$

У випадку використання ортогональної декартової системи координат

$$e_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial \alpha_1}; e_{12} = \frac{\partial u_2}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial u_1}{\partial \alpha_2}; 2\omega_1 = \frac{\partial u_3}{\partial \alpha_2} - \frac{\partial u_2}{\partial \alpha_3}.$$

Інші складові тензора деформацій отримуються з шляхом циклічної перестановки індексів.

З урахуванням цього після диференціювання за часом в геометрично нелінійному випадку для швидкостей деформацій можна записати

$$\frac{\partial \varepsilon_{11}}{\partial t} = (1 + e_{11}) \frac{\partial v_1}{\partial \alpha_1} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_2}{\partial \alpha_1} + \left(\frac{e_{13}}{2} - \omega_2 \right) \frac{\partial v_3}{\partial \alpha_1}; \dots$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{12}}{\partial t} = \left(1 + \frac{e_{11}}{2} + \frac{e_{22}}{2} \right) \left(\frac{\partial v_2}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial v_1}{\partial \alpha_2} \right) + \left(\frac{e_{12}}{2} - \omega_3 \right) \frac{\partial v_1}{\partial \alpha_1} + \left(\frac{e_{12}}{2} + \omega_3 \right) \frac{\partial v_2}{\partial \alpha_2} +$$

$$+ \frac{(e_{22} - e_{11})}{2} \left(\frac{\partial v_2}{\partial \alpha_1} - \frac{\partial v_1}{\partial \alpha_2} \right) + \left(\frac{e_{23}}{2} + \omega_1 \right) \frac{\partial v_3}{\partial \alpha_1} + \left(\frac{e_{13}}{2} - \omega_2 \right) \frac{\partial v_3}{\partial \alpha_2} \dots$$

(2)

Система рівнянь (1)-(2) замикається фізичними співвідношеннями виду, що зв'язують швидкості складових тензорів напруження та деформації. Деформація в матеріальній точці представляється у вигляді суми пружною складовою; стрибка деформації при фазовому переході; пластичної деформації, яка підпорядковується теорії течії з кінематичним і трансляційним зміцненням; деформації, викликаної температурними змінами. При цьому передбачається, що властивості матеріалу залежать від температури.

За допомогою підходу основанийого на покопонентному розщепленні повної системи рівнянь запропоновано новий варіант методу зведення трьохвимірної геометрично нелінійної нестационарної задачі термо-пружно-пластичності до послідовно розв'язуваної системи трьох двовимірних задач на дробових кроках за часом (схема Писмана, Речфорда, Дугласа).

Розглянемо поведінку пластини з бічним розрізом при локальному розтягуванні. Геометрія пластини задається так:

$$x \in [0; H], y \in [-L; L], z \in [-h; h].$$

Для розрізу $x \in [l; H], y \in [-h_0; h_0], z \in [-h; h].$

Початкові умови для всіх невідомих величин нульові.

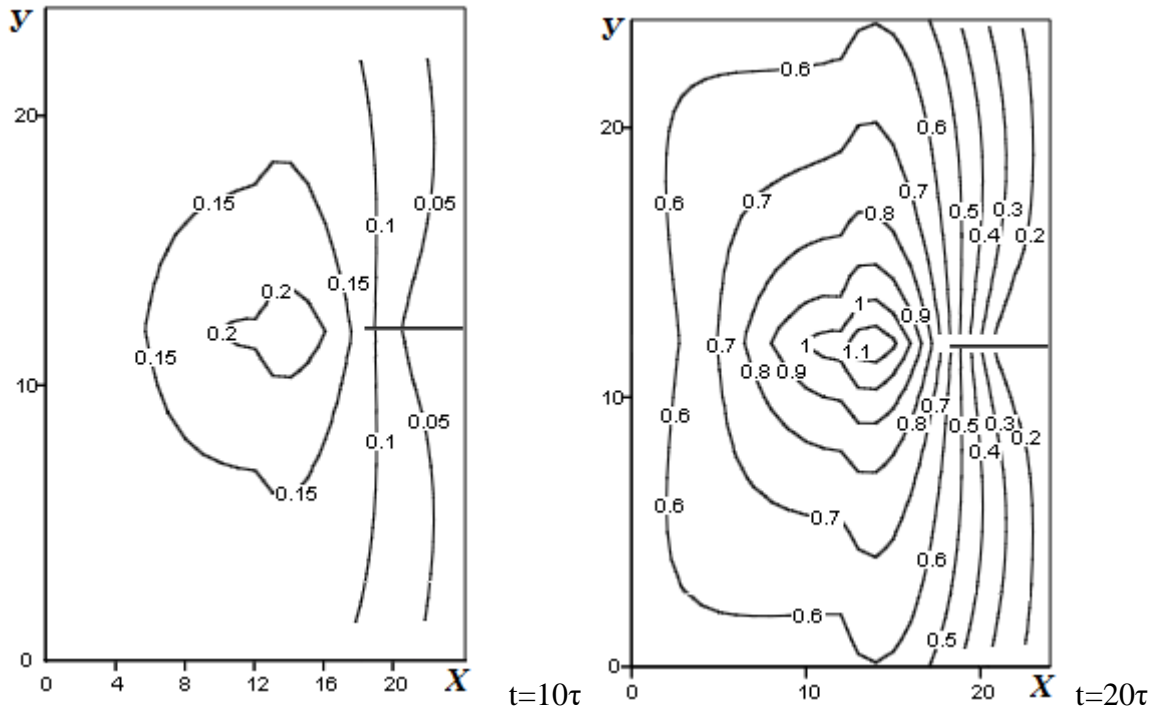
На краях пластини $y = -L, y = L \{x \in [l; H]; z \in [-h; h]\}$ задається швидкість переміщення $V_y = \varphi(t, x, z)$, яка змінюється по відомому закону. Вся інша поверхня пластини та розрізу вільні від навантаження.

Числові результати, які наведені нижче на Рис. 3, отримані за допомогою метода розщеплення [2;4;5] для таких сіток за часом та координатами і розмірів пластини.

$$\omega_r = \left\{ \begin{array}{l} t_p; t_{p+1/3} = t_p + \tau_1; \\ t_{p+2/3} = t_{p+1/3} + \tau_2; \\ t_{p+1} = t_{p+2/3} + \tau_3; \\ \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3; t_0 = 0; p = 0,1,2,\dots \end{array} \right\} \quad \omega_h = \left\{ \begin{array}{l} x_i = x_{i-1} + h_1; i = 1, 2, \dots, N_1; \\ y_j = y_{j-1} + h_2; j = 1, 2, \dots, N_2; \\ z_k = z_{k-1} + h_3; k = 1, 2, \dots, N_3 \end{array} \right\},$$

Кроки інтегрування та розміри

$$\tau = 0,001; h_1 = h_2 = h_3 = 0,05; L = H = 1; h = 0,1; h_0 = 0,02; l = 0,75;$$



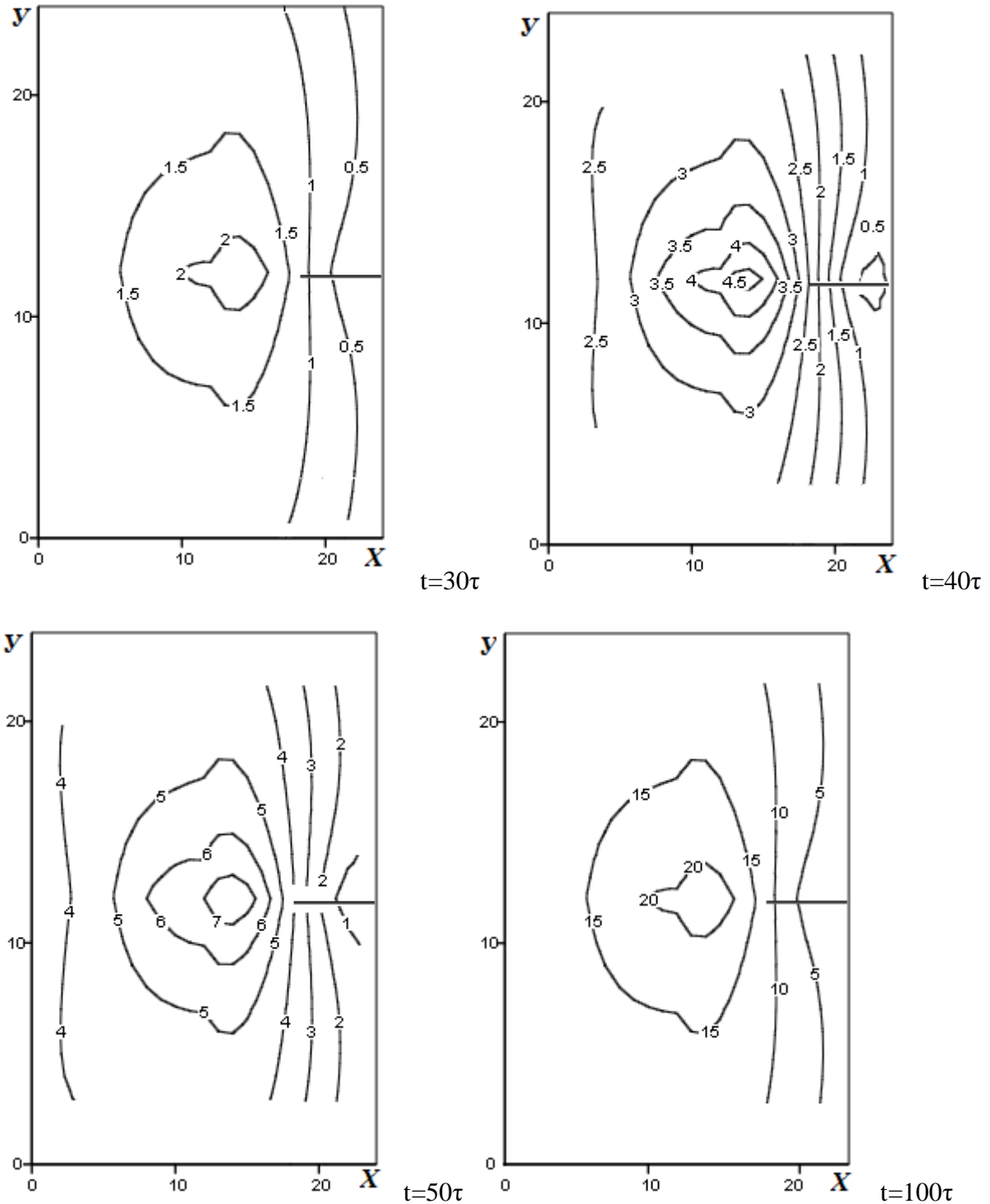


Рис. 1. Поле інтенсивності деформації

На рисунку 1 показано поле інтенсивності деформації для різних моментів часу. На початку навантаження пластини максимальні показники досягають 7% і розходження між результатами, отриманими в геометрично лінійній і нелінійній постановках поблизу розрізу пластини становить до 1%. З ростом навантаження ($t=100\tau$) отримано значні пластичні деформації до 20%. В цьому випадку розходження між результатами геометрично лінійного і нелінійний підходів досягає 15%.

Зазначимо, що використовуючи геометрично лінійний підхід можливе моделювання поведінки функціонально-неоднорідних матеріалів деформація яких обмежена 7%. При великих значеннях інтенсивності деформації (до 20%) пропонується використовувати геометричного нелінійний підхід.

Література

1. Domichev K. Modeling the behavior of the body with pseudo-elastic-plastic material at non-stationary loading / K. Domichev, P. Steblyanko, A. Petrov // Металофізика та новітні технології, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, 2021–Том 43, випуск 1 – с. 107-128
2. Petrov A. Development of the method with enhanced accuracy for solving problems from the theory of thermo-pseudoelastic-plasticity / A.Petrov, Yu.Chernyakov, P.Steblyanko, K.Demichev, V.Haydurov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4/7 (94). P. 25–33.
3. Steblyanko P.A. Computational methods in stationary and non-stationary thermal-plasticity problems / P.A.Steblyanko, Yu.Shevchenko// Computational Methods in Stationary and Nonstationary Thermal-Plasticity.- Problems, ETS- Encyclopedia of Thermal Stresses , Springer Verlag, N 7, 2014.- P. 630-636.
4. Поздеев А.А., Трусов П.В., Няшин Ю.И. Большие упругопластические деформации: теория, алгоритмы, приложения /А.А.Поздеев, П.В.Трусов, Ю.И. Няшин // –М.: Наука. 1986. – 232 стр.



“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021”

**КОМП’ЮТЕРНА МЕХАНІКА І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В
МАШИНОБУДУВАННІ, МЕТАЛУРГІЇ ТА БУДІВНИЦТВІ.
ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА.**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И
НАПРЯЖЕНИЙ В ТЕЛАХ НИЗКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

О.Р. Гачкевич, О.Б. Гуменчук, В.В.Можаровський, Р.Б. Терлецький

**Институт прикладных проблем механики и математики НАН Украины
(Украина); Политехника Опольська (Польша);**

Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины (Беларусь)

В последние годы в инженерной практике получает все большее внедрение термообработка тел низкой электропроводимости (из стекла, керамики, пластмассы, различных металлов, сплавов и др.) с помощью электромагнитного излучения инфракрасного частотного диапазона (ЭМИ). В связи с этим возрос интерес к математическому моделированию и исследованию обусловленных ЭМИ физических эффектов и явлений в таких телах. Предложен вариант математической модели количественного описания температурных полей и напряжений в телах низкой электропроводимости при воздействии ЭМИ, в частности, теплового излучения от нагретых тел. Такие тела могут быть как частично прозрачными так и непрозрачными для излучения такого частотного диапазона.

Параметры, характеризующие ЭМИ в электропроводном теле определены, исходя из феноменологической теории излучения на основании законов Планка и Бугера. Рассмотрено электропроводные тела как слабопоглощающие (частично прозрачны для ЭМИ) так и сильнопоглощающие (непрозрачны для излучения). Для описания поля ЭМИ в частично прозрачных телах исходными принимаются уравнения переноса излучения. Записано представление решения уравнения переноса в предположении, что внутренняя поверхность тела диффузно излучающая и отражающая.

Феноменологическая теория излучения позволяет эффективно получать выражения факторов воздействия поля излучения на материальный континуум. Краевые условия и энергетические факторы устанавливаются на основании выражений для плотностей потоков излучения, которые имеют свои особенности для материалов различной

прозрачной для излучения. Получены выражения для плотностей имеющихся потоков ЭМИ (падающего, поглощенного, отраженного и собственного) для полупрозрачных и непрозрачных для такого излучения тел.

На основании полученных результатов уточнена расчетная схема решения задач термомеханики электропроводных тел при электромагнитном облучении в зависимости от радиационных свойств материала.

Изложено математическую подмодель количественного описания температурных полей и напряжений в системе тел, непрозрачных для ЭМИ (в частности металлических), между которыми осуществляется обмен ЭМИ (в том числе и тепловым излучением) через прозрачную для излучения внешнюю среду. Записаны соответствующие балансовые соотношения на потоки энергии. Описание термонапряженного состояния рассматриваемых систем сводится к нелинейным задачам теплопроводности и последующим задачам квазистатической термоупругости. На основании такой расчетной подмодели найдено и исследовано термонапряженное состояние длинного цилиндра при нагреве тепловым излучением, обусловленным коаксиальным с ним полым цилиндром, имеющим более высокую температуру. Между цилиндрами осуществляется теплообмен излучением через прозрачную для излучения среду (в приближении вакуума), а на внешней поверхности полого цилиндра имеет место условие конвективного теплообмена со средой.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках научного проекта ВБ-460 (2020-2021) совместного конкурса научных проектов НАН Украины и НАН Беларуси.

ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ СТРУКТУРНОГО И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ

А.Р. Гачкевич, Т.В. Козакевич, В.А. Кукареко, Т. Волчаньски

**Институт прикладных проблем механики и математики НАН Украины
(Украина); Политехника Опольська (Польша);
Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения
НАН Беларуси» (Беларусь)**

В научно-технической литературе имеется большое количество данных, в том числе экспериментального характера, о значениях удельных объемов основных фазовых составляющих: аустенита, феррито-перлита, бейнита и мартенсита, образующихся при распаде аустенита в диапазоне температур полиморфных преобразований. Известные экспериментальные данные об увеличении объема для стали при превращении (распаде аустенита) равном 0,1% на каждые 0,1% углерода.

Известны также экспериментальные данные Юрьева С.Ф. о значениях удельных объемов в зависимости от температуры и содержания углерода, а также экспериментальные данные (полученные в довольно «чистом» эксперименте Одинга Г.А.) для сталей типа 3X13 и 3X14 при мартенситном превращении. Необходимо также отметить исследования японских ученых Ванга, Инаге, Манкава, Нагаки, в которых уставлены значения удельных объемов при распаде аустенита для сталей S45C с 0,45% С и SCM3 с 0,34% С и др.

Приведенные данные не являются однозначными. Их разрозненный характер

является по нашему мнению результатом наличия легирующих элементов и разного процентного содержания углерода, а также условий охлаждения и требует определенной систематизации.

На основании анализа имеющихся данных установлено, что для рассматриваемых в модели Касаткина О.Г, Зайффарта П. и др. типов сталей при монотонном охлаждении ниже 500°C практически не изменяется распределение процентного содержания образовавшихся основных фазовых составляющих. Остаточные напряжения определяются этими процентными содержаниями и значениями удельных объемов в нормализованном состоянии (приведенном к температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$). При этом, при неизменности процентного содержания образовавшихся фазовых составляющих, значения удельных объемов при охлаждении от 500°C до 20°C изменяются существенно. Поэтому на этом промежутке структурные напряжения будут иметь характер временных напряжений, определенных мгновенными значениями только удельных объемов фазовых составляющих (при имеющимся неизменном их процентном содержании, установившемся при охлаждении до 500°C). Они существенно зависят от содержания углерода C и выступающей температуры, и будет асимптотически стремиться к значениям остаточных напряжений при понижении температуры к натуральной.

Отметим, что такое поведение остаточных напряжений в зависимости от температуры может быть учтено в известной модели остаточных структурного и напряженного состояний стальных тел после технологического нагрева и последующего монотонного охлаждения [1], т.е. мы можем исследовать в таком понимании временные структурные напряжения, которые с уменьшением температуры переходят в остаточные.

Значения упомянутых удельных объемов, выступающие в выражениях для удельных структурных деформаций составляющих, для отдельных типов низкоуглеродистых малолегированных сталей, в частности, феррито-перлитных, с достаточной точностью могут быть найдены базирясь на известных экспериментальных данных о увеличении объема для стали при превращении (распаде аустенита) равном 0,1 % на каждые 0,1% углерода).

Однако для легированных (в том числе многих типов низколегированных) сталей эти закономерности не выполняются.

Предложены варианты, алгоритмов (схем) нахождения структурных деформаций при конкретных фазовых превращениях в зависимости от типа (марки) исходной стали. При этом проанализированы получаемые результаты в зависимости от принимаемых в литературе исходных предпосылок о свойствах основных структурных составляющих: аустенита, мартенсита, бейнита и феррито-перлита.

Остаточные структурные деформации фазовых составляющих являются исходными при определении остаточных напряжений, обусловленных фазовыми превращениями. Отметим однако, что по нашему мнению в рассматриваемой модели могут быть оценены и возникающие остаточные пластические деформации. При высоких температурах сильно уменьшается значение предела пропорциональности и иных механических характеристик. Поэтому можно принять что пластические деформации будут определяться пластическим состоянием, возникающим при $t < 500^{\circ}\text{C}$ (хотя нам известно распределение температуры в течении всего процесса и пластическое состояние может быть найдено и на всем температурном интервале нагрева – охлаждения, с учетом особенностей деформирования при высоких температурах). Здесь материал может рассматриваться как единая образовавшаяся сталь, а могут быть учтены и все конкретные фазовые составляющие. В отдельных из известных работ в этом направлении отмечено, что для мягкой стали и железа

температуру перехода из пластического в упругое состояние можно принять приблизительно равной $350\div 400^{\circ}\text{C}$.

В связи с этим и в соответствии с выводами из общей теории фазовых превращений принимают, что характер остаточных напряжений может быть определен на основании временных температурных напряжений, соответствующих моменту времени, когда напряжения в рассматриваемой подобласти перейдут в упругое состояние, т.е. подобласти будет соответствовать определенная температура перехода. При учете только температурного фактора изменение знака у временных напряжений, соответствующих этому моменту времени, даст вероятное распределение остаточных напряжений, обусловленных пластичностью. Однако такое распределение может быть найдено, с учетом отмеченных ранее, на основании решения соответствующей задачи теории пластичности при имеющимся распределении температуры t при $t \leq 500^{\circ}\text{C}$.

Литература

1. *Tomasz Wolczański, Teresa Kozakevych, Oleksandr Hachkevych*. Structural and residual stress state of steel plates subjected to the heating of moving heat sources. (ISSN 1429-6063, ISBN 978-83-66033-63-4). Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2019. – 290 с.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках научного проекта ВБ-460 (2020-2021) совместного конкурса научных проектов НАН Украины и НАН Беларуси.

VARIANT OF MATHEMATICAL MODEL OF THERMOMECHANICS FOR QUANTITATIVE DISCRPTION OF THERMAL AND MACHANICAL PROPARTIES IN ELECTROMAGNETIC NONPOLARIZABLE, MAGNETIZABLE BODIES

^{1,2} *Hachkevych O.R., ¹ Ivas'ko R.A., ¹ Kuszniir R.M., ² Stanik-Besler A.*

¹ **Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics, NAS of Ukraine (Ukraine);**

² **Opole University of Technology (Poland)**

To construct the rational regimes of heating and thermal processing of electroconductive ferromagnetic bodies with the help of electromagnetic fields it is of great importance to investigate interconnected processes of electroconduction, heat conduction and deformation in such solids.

However, in the literature there are no effective mathematical models of quantitative description of processes in ferromagnetic bodies tacking into account the nonlinear such dependents between the magnetic field induction and strength of electroconductive ferromagnetic bodies possessing the hysteretic dependence between the magnetic induction and strength vectors (magnetically hard bodies).

A version of mathematical model of thermo mechanics for quantitative description of thermal and mechanical properties, caused by technological action of external electromagnetic field at high-temperature target oriented treatment, in electroconducting nonpolarizable, magnetizable bodies is offered.

The interconnection of electromagnetic, temperature and mechanical fields is taken into

account by the Joule heating and connected with the remagnetization, ponderomotive forces of the electromagnetic field influence on the conduction currents and molecular currents by the thermoelastic energy dissipation. The calculated schem of the problems is constructed in two stages. On the first stage the magnetic and electric strengths are determined from the electrodynamic equations in the harmonic approximation on the basis of the given analytic approximation of the hysteretic dependence between the induction and strength of the magnetic field.

Then the corresponding expressions are written for heating and ponderomotive forces.

In the second stage the dynamic thermoelasticity problem is solved in which the heating and ponderomotive forces, found in the first stage are the heat sources and volume forces in the initial equations.

Through the quantitative comparison of the model problem solution with the solution obtained by the small parameter methods and numerical ones (explicit A – stable method of the Runge-Cutta type of the fourth order accuracy using the chain fraction and branch chain fraction apparatus) it is established that we may limit ourselves to two iterations in the initial quasi-linear electrodynamic and dynamical thermomechanics equations with the necessary for practical calculation accuracy. Then the accuracy of the results increases when the parameter of the depth of the induction currents penetration increases.

On the basis of the carried out investigations we can take the scheme, consisting of three stages, as the calculation scheme of the approximate determination of the temperature field and stresses in the electroconductive ferromagnetic bodies influenced by the steady electromagnetic fields.

On the first stage the electromagnetic field, ponderomotive forces heating, slowly changing on the vibration period, both Joule and due to remagnetization are determined in the region of the electroconductive ferromagnetic body.

On the second stage the resonance frequencies of electromagnetic field are found on the basis of solving the corresponding boundaryvalue problem on the vibration eigenfrequencies of the considered body.

On the third stage the temperature fields and stresses are determined. Then, if the prescribed frequency of the electromagnetic field is not in the neighbourhood of the resonance frequency, the thermoelastic state of the body is found in the statement of the noncoupled quasi-static thermoelasticity problem coming from the slowly changing components of heating and ponderomotive forces. If the frequency is close to resonance one then the temperature fields and stresses are found in the steady state approximation on the basis of relations of the coupled dynamic thermoelasticity problem taking into account only the ponderomotive force components, periodically changing in time.

Because of the more near-surface character of induction heating for ferromagnetic bodies comparing with nonferromagnetic ones, the use of the principle of local quasi-equilibrium thermodynamic state is of interest for the description of the stressed-strained state. This approach is based on the use of the extended phase space of parameters of the local state with the gradients of temperature and chemical potential as additional parameters for determination of the constitutive relations of thermomechanics.

ПРО ВИКОРИСТАННЯ ОДНОГО МЕТОДУ АПРОКСИМАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЇХ ЧУТЛИВОСТІ В ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧАХ

О.П. Круковський, Г.І. Ларіонов

ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

Властивість системи змінювати свої характеристики за зміни різних внутрішніх та зовнішніх чинників за звичай називають чутливістю. Розділ теорії чутливості пов'язаний з вивченням впливу зміни параметрів на характеристики системи прийнято називати теорією параметричної чутливості. У подальшому під терміном чутливість будемо розуміти параметричну чутливість.

Проблема пошуку функцій керування в складних електронних та механічних системах, з використанням теорії чутливості виникла відносно недавно. Пошук складеної функції керування для диференціальних рівнянь полягав у складанні рівнянь для визначення функції чутливості, знаючи яку можна визначати закон керування технічною системою. Причому вимоги до системи рівнянь, а відповідно, і його розв'язку досить жорсткі. Розв'язок повинен бути неперервним та бути стійким до варіації параметрів. Для їх забезпечення необхідно проводити окремі дослідження, і лише потім намагатися відшукати функцію чутливості та керування. Причому необхідно провести дослідження з виявлення зв'язку між проблемою чутливості і математичними задачами теорії стійкості. Але широкого використання внаслідок значної складності досліджень теорія чутливості ще не отримала. Для математичних моделей (ММ) які можуть бути представлені як системами диференціальних рівнянь, так і низкою формул різного походження, отриманих експериментально виникає проблема пошуку чутливості рішень за варіації їх параметрів.

Пропонується визначення чутливості в технічних застосуваннях замінити на апроксимацію функції якості у вигляді добутку степеневих функцій кожна з яких залежить від одного параметра і порівнянні їх показників. Чим більший показник степені, тим сильніший вплив параметра на функцію. Причому дослідник сам забезпечує і гарантує неперервність функції.

Досвід успішного використання методу послідовної апроксимації (МПА) в прикладних задачах механіки [1] і такого представлення показує, що оцінка чутливості функції якості до параметрів отримана у околі точки із області визначення практичних задач може бути розширена на всю область визначення функції. Похибки такого представлення зростають при наближенні до її границі та вони не перевищують величину 5-7%. Як показує практика, така точність є задовільною для інженерних розрахунків в галузі геотехнічної механіки, оскільки вихідні дані для цього визначаються з такою ж точністю. Точність може бути підвищена до необхідного значення за рахунок звуження області зміни параметрів.

Стосовно функції якості процесу то її можна обирати у будь якому вигляді який впливає з розрахункового процесу або створена на базі розрахунків. Проте вона повинна бути скалярною, тобто кожній певній множині значень параметрів повинно відповідати певне число. Користувач сам обирає точку у околі якої будувати апроксимацію, сам забезпечує і гарантує збіжність та стійкість процесів обчислення значень функції.

1. Ларіонов Г. І. Оцінювання конструктивних параметрів анкерного кріплення / Г. І. Ларіонов. – Дніпропетровськ: Національна металургійна академія України, 2011. – 286 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЛЕНТЫ ПО РОЛИКООПОРАМ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

Кирия Р.В., Новиков Л.А., Мостовой Б.А.

Институт Геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

В настоящее время в связи с ужесточением требований к экологии за рубежом и в Украине получили применение ленточные конвейеры с трубчатой лентой. Основными их преимуществами по сравнению с другими видами ленточных конвейеров являются: отсутствие непосредственного контакта груза с окружающей средой, возможность транспортировать груз по криволинейным трассам с углами наклона трассы до 30° без промежуточных перегрузочных узлов. Однако одним из основных недостатков трубчатого конвейера является увеличение в 1,5–2 раза сопротивления движению ленты по роликоопорам става конвейера по сравнению с ленточным конвейером с желобчатой лентой. Согласно [1,2] основными составляющими силы сопротивления движению ленты по роликоопорам ленточного конвейера являются составляющие от вращения роликов, вдавливания роликов в ленту, от изгиба ленты, а также от деформации груза. При этом на составляющую силы сопротивления движению ленты по роликоопорам конвейера с желобчатой лентой от деформации груза приходится 50–60 % от общей силы сопротивления. В то же время составляющая силы сопротивления при движении ленты по роликоопорам трубчатого конвейера от деформации груза мало изучена.

В работе на основании теории тонких упругих цилиндрических оболочек получена математическая модель сопротивления движению ленты с сыпучим грузом по роликоопорам трубчатого конвейера от деформации груза. При этом модель основывалась на следующей физике процесса сопротивления движению трубчатой ленты по роликоопорам конвейера.

При подходе к роликоопоре трубчатая лента вместе с грузом сжимается, а после роликоопоры – разваливается. Согласно свойствам сыпучей среды при сжатии ленты перед роликоопорой на ленту действует со стороны сыпучего груза нормальное пассивное напряжение. А при развале ленты за роликоопорой на ленту со стороны сыпучего груза действует нормальное активное напряжение.

В результате в точках контакта с роликами роликоопор возникает скачок нормальной распределенной нагрузки на ленту конвейера со стороны сыпучего груза. Этот скачок распределенной нагрузки вызывает скачок изгибающих моментов, приложенных к ленте в точках контакта ленты с роликами роликоопор трубчатого конвейера.

Согласно принципу относительности движения в механики задача движения ленты по роликоопорам трубчатого конвейера заменена задачей качения роликов по трубчатой ленте.

С использованием асимптотического метода в работе определена сила сопротивления движению ленты по роликам роликоопор трубчатого конвейера в зависимости от параметров конвейера, погонной нагрузки на ленту конвейера, параметров роликоопор, диаметра ленты и ее физико-механических свойств.

Литература

1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.]. – М.: Из-во МГГУ, 2005. – 543 с.

2. Кирия Р. В. Определение сил сопротивления движению ленты по роликоопорам ленточного конвейера, обусловленных деформацией груза / Р. В. Кирия, Н. Г. Ларионов // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2014. – №44. – С. 43–53.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ВОДИ НА ГАЗОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ

Круковська В.В.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Вода, яка міститься в тріщинно-поровому просторі вугільних пластів значно впливає на розвиток деформаційних, фільтраційних і газодинамічних процесів. Вологонасичення призводить до зниження міцності гірських порід, впливає на фазову проникність і кількість вільного газу. Інтенсивність процесу сорбції-десорбції газу також залежить від вмісту вологи в поровому просторі вугілля. Для дослідження різних аспектів впливу вологи на газодинаміку вугільних пластів розроблена математична модель зв'язаних процесів пружнопластичного деформування вугільного пласта, фільтрації газу з урахуванням його десорбції і дифузії води в тріщинно-поровому просторі:

$$c \frac{\partial u}{\partial t} = \sigma_{ij,j} + X_i(t) + P_i(t); \quad \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{k_g}{2\mu_g m} \left(\frac{\partial^2 p^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial y^2} \right) + q(t); \quad \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{K}{\mu_w m} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right);$$

$$K = k_{II}(x, y) + k(\sigma_{ij}, t), \quad k_e = (1 - 0,01w)K,$$

де c – коефіцієнт демпфування, кг/с/м³; u_i – переміщення, м; t – час, с; σ_{ij} – похідні від компонент тензору напружень, МПа/м; $X_i(t)$ – проекції зовнішніх сил, що діють на одиницю об'єму твердого тіла, Н/м³; $P_i(t)$ – проекції сил, зумовлених тиском газу в тріщинно-поровому просторі, Н/м³; p – тиск газу, МПа; K – абсолютна проникність вугілля, м²; k_g – газова проникність, м²; m – пористість; μ_g, μ_w – в'язкість газу і води, Па·с; $q(t)$ – функція газовиділення; w – концентрація води, %; k_{II} – проникність вугілля в зоні впливу тектонічного порушення, м²; k – проникність, обумовлена зміною поля напружень [1], м².

Газодинамічні явища відбуваються поблизу тектонічних порушень, де вугілля перем'яте і має змінені властивості. При розв'язанні даної задачі вважалося, що зчеплення лінійно зменшується, а тектонічна проникність лінійно зростає від межі порушеної зони до площини тектонічного порушення, міцність на розтяг в цій зоні дорівнює нулю. В результаті виконання серії чисельних розрахунків показано наступне.

За природною вологістю вугільного пласта $w = 1\%$ у вибої виробки поблизу тектонічного порушення швидко збільшується зона непружних деформацій, градієнти тиску метану приймають дуже високі значення, проникність вугілля стрімко зростає, відбувається утворення порожнини в вугільному пласті [2]. Потім зростання порожнини зупиняється, тиск метану у вугільному пласті продовжує повільно знижуватися – геомеханічні процеси і процес фільтрації метану повертаються до квазістаціонарних режиму.

Урахування впливу вологи тільки на зниження фазової проникності для метану показує, що за тих же умов при $w > 24\%$ газодинамічний процес в привибійній зоні вугільного пласта не розвивається. Додаткове урахування зменшення площі десорбції метану в результаті розподілу молекул води на поверхні пор знижує цю межу до 20%,

урахування зміни фізико-механічних властивостей вугілля при зволоженні – до 15%.

Література

1. Krukovskiy O., Krukovska V., Wen Zhang (2020). Outburst cavity formation in the working face driven along the outburst-prone coal seam, II International Conference Essays of Mining Science and Practice, 168, 00052.

2. Krukovska V. (2021). Numerical analysis of influence of coal bed moisture on outburst hazard, Science and society, patterns and trends of development: Abstracts of XVI International Scientific and Practical Conference, Vienna, Austria, Pp. 233-236.

ANALYSIS OF GEOMECHANICAL PROCESSES DURING LONG-TERM GAS-FIELDS DEVELOPMENT

Krukovskiy O.P., Krukovska V.V.

Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine

In order to substantiate the influence of the geomechanical factor on the possibility of withdrawing additional volumes of gas from low-porosity reservoirs during gas-fields development, a mathematical model of rock mass deformation has been developed. This model take into account the methane pressure in the gas reservoir. As a result of the numerical solution of the problem, it is shown that the maximum displacements of rock mass and the earth's surface occur after the gas pressure in the reservoir has significantly decreased. In this case, the host rocks are deformed with an increase in their volume that indicates the possibility of brittle fracture initiation. If there is a low-porosity gas reservoir in this zone, its gas recovery can increase due to an increase in permeability.

ЗАСТОСУВАННЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВОДОПРИПЛИВУ В ГІРНИЧІ ВИРОБКИ ПІД ЧАС ПЕРЕТИНУ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

Виноградов Ю.О.

Інститут фізики гірничих процесів НАН України

Проблема зниження водоприпливу в українських вугільних шахтах, які відрізняються складними гідрогеологічними умовами, на сьогодні дуже актуальна. Для її вирішення виконано чисельне дослідження зміни величини водоприпливу в гірничу виробку при перетині нею тектонічного порушення. Розглянуто випадки, коли виробка закріплена рамними анкерним кріпленням та виконано порівняльний аналіз.

Для прикладу розглядався повздовжній перетин капітальної виробки, яка проводиться в складних умовах, з наявністю великої кількості обводнених прошарків порід. Виробка перетинає диз'юнктивне тектонічне порушення «скид» з амплітудою зміщення 1 м. Змодельовані умови подібні умовам проведення виробки східного магістрального відкотного штреку шахти ім. Н.І. Сташкова. Розглянуто випадки, коли забій виробки знаходиться на різній відстані від тектонічного порушення: виробка за межами впливу тектонічного порушення; виробка в слабо порушеній зоні; виробка у

максимально порушеній зоні тектонічного порушення. Виконано розрахунок поля напружень, зон непружних деформацій, коефіцієнтів проникності, яка залежить від напруженого стану і враховує тектонічну і природну проникність порід. Отримано розподіли тиску води, рис. 1, і значення водопритоку в виробку у всіх розглянутих випадках.

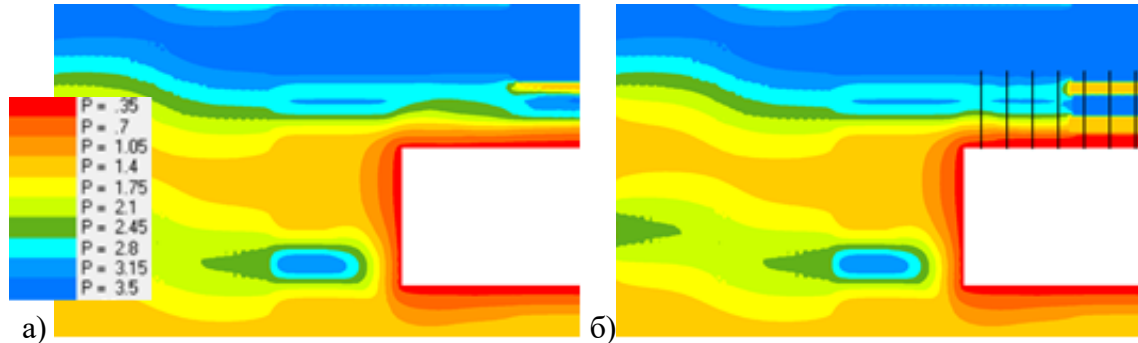


Рисунок 1. Тиск води, відстань від порушення – 7 м: а) виробка з рамним кріпленням; б) виробка з анкерним кріпленням.

Аналіз отриманих даних показав, що в покрівлі виробки з рамним кріпленням утворюється порушена зона, яка охоплює водоносні породи. Усередині цієї області вода може вільно переміщатися до контуру виробки. При наближенні до диз'юнктивного порушення відбувається значне зростання фільтраційної проникності. Дебіт води в виробку досягає критичних значень. Застосування анкерного кріплення стримує розвантаження приконтурних порід від гірського тиску, зберігає їх в напруженому стані тривісного стиску. Значення проникності зменшується на величину її технологічної складової. На різних ділянках перетину тектонічного порушення водоприток в виробку з анкерним кріпленням в 3-8 разів менше, ніж в виробку, закріплену рамами. Таким чином, застосування анкерного кріплення дозволяє не тільки зберегти виробку в стійкому стані, але і значно знизити водопритоки в складних гідрогеологічних умовах.

Література

1. Виноградов Ю.А. Динамика изменения фильтрационных параметров при проведении горной выработки по обводненным породам / Международная научная конференция «Актуальные научные исследования в современном мире» 2020. С. 44-52.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ У МАСИВІ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЧЕРЕЗ СВЕРДЛОВИНУ

Поліщук А.В.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Розглянуто задачу про динамічне навантаження на масив гірничих порід через свердловину.

За представленою методикою [1,2] розроблена обчислювальна програма для розрахунку динамічного та статичного полів напружень навколо свердловини. Відмінною особливістю реалізованого алгоритму є те, що розглянуто задачу для великих відношень зовнішнього та внутрішнього радіусів моделюючого циліндра b/a . Відношення b/a у розглянутому випадку складало 100 – 200 та завбільшки.

Розроблений алгоритм передбачає наступні варіанти розрахунків : з фіксованою та змінною зовнішньою границею, із граничними умовами, що змінюються на зовнішньому контурі.

Найбільш обґрунтована геомеханічна модель розв'язання задачі повинна включати змінення у часі радіуса зовнішньої границі у бік зростання та змінення частот власних коливань масиву у бік їх зменшення за рахунок збільшення зовнішнього радіуса та за рахунок «пом'якшення» граничних умов на зовнішньому контурі у процесі ослаблення області навколо свердловини. У процесі числової реалізації задачі був прийнятий варіант розрахунку, де значення величин власної частоти p_i та b від часу не залежать. Параметри p_i та b варіювалися при розрахунках різних варіантів задачі. Аналіз отриманих результатів показав, що при великих значеннях відношення b/a збіжність розв'язку визначається швидкістю збіжності виразу для $\frac{\partial u_r}{\partial r}$. Збіжність розв'язку при фіксованих значеннях a та b визначається співвідношенням частоти вимушених та власних коливань масиву. Так, при значеннях частоти зовнішньої вимушеної сили, що у 2 рази перевищує значення першої власної частоти коливань масиву навколо свердловини, достатня збіжність виразу $\frac{\partial u_r}{\partial r}$ не була досягнута при використанні перших 50 членів ряду у розкладанні $\frac{\partial u_r}{\partial r}$ за параметрами p_i . В той же час, при значеннях частоти зовнішнього навантаження порядку основної власної частоти та нижче, спостерігається значне покращення збіжності. У діапазоні частот для усіх значень відношення b/a у проміжку $50 \div 200$ достатня збіжність розв'язання була досягнута при використанні не більше 30 перших значень параметрів p_i .

Література

1. Математические методы моделирования технических и биологических систем с учетом отклонений: монография / С.А. Борзов, С.С. Насонова, А.В. Полищук [и др.]; под ред. В.И. Олевского. – Днепр: Изд-во ЧФ «Стандарт-Сервис», 2017. – 214 с.
2. Полищук А.В. Оценка эффективности динамического воздействия на горный массив через скважину / Васильев Л.М., Полищук А.В. // Сб. трудов ИГТМ НАН Украины «Динамическое и статическое воздействие на горный массив». - Киев: Наукова думка. - 1995. - С. 23 – 27.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ВАНТ

Гупало Ю.Ю., Бельмас И.В.

Днепровский государственный технический университет

Мостостроение является одной из необходимых сфер общества, как в стратегической, так и в экономической структуре. В настоящее время существует четыре типа построения конструкций мостов: вантовая, висячая, балочная, фермовая. Вантовые конструкции мостов делят их на основные части, которые работают на сжатие или на растяжение. Не зависимо от физических процессов, внутри ванты происходит провисание и утончение волокон из – за неравномерного регулирования силы натяжения ванты.

Целью данной работы является повышение надежности узла крепления вант путем присоединения анкеров крепления вант с помощью ползунов для регулирования силы натяжения канатов вант.

В подвесных мостах основному типу нагрузки подвержены ванты, так как работают на растяжение. Воздействия внутренних (перемещение, натяжение между канатами) и внешних (ветровые нагрузки, грузоперевозки, нерегулирование натяжение узлом крепления) факторов ванты снижают срок безопасной эксплуатации. Поэтому для повышения долговечности работоспособности конструкции считается необходимым усовершенствование узла крепления с учетом нескольких параметров. Существует ряд типов креплений для стальных вант: гильзостержневые анкера, нарезные хвосты, анкера стаканного типа, анкера с креплением нарезной втулки. Гильзостержневые анкера закрепляют ванту при помощи заливки специальным сплавом при температуре 450 °С. Данный метод способствует крепкому креплению фиксации ванты, но целостность при этом конструктивного элемента и сила его натяжения может регулироваться одноразово. Касательно нарезных хвостов, то они закрепляются шайбой к металлической площадке пилона, что также приводит к провисанию и снижением прочности конструкции, но регулируют длину ванты. Анкеры стаканного типа закрепляют, бетонируя загнутые концы целостной ванты и изменяя силы натяжения. Изменения сил натяжения являются следствием реологических свойств – изменения размера элемента впоследствии длительной нагрузки. Анкеры с приварной нарезной втулкой обеспечивают регулировку длины ванты, но увеличивают трения на месте узла крепления. Поэтому предлагается узел крепления ванты, который содержит опорный элемент с поперечными вырезами. В каждом вырезе, которого находится ползун, опирается анкер через пружину. Каждый ползун обеспечивается фиксацию в любом положении и перемещения каждого каната, регулируя при этом силы его натяжения в вырезе натяжения каждого каната. Вращая болты регулирования перемещаются ползуны, через пружину давят на анкера крепления вант. Под действием давления анкера перемещаются с вантами в поперечных вырезах.

Перемещения канатов вант вдоль вырезов регулирует разные вытягивания и деформации вант, равномерного разделения нагрузки между канатами, корректировку их силы натяжения после длительного срока службы. Повышая надежности узла крепления ванты к опорному элементу, повышает надежность всей конструкции мостостроения и уровень безопасности населения.

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ДИАМЕТРА РЕГУЛЯРНО РАСПОЛОЖЕННЫХ В СРЕДНЕМ СЕЧЕНИИ КРУГОВЫХ ОТВЕРСТИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОДОЛЬНОСЖАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Дзюба П.А.

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

Обеспечение устойчивости и несущей способности тонкостенных оболочек с отверстиями при действии на них различных внешних нагрузок является одной из важнейших инженерных задач.

Применение теоретических методов и современных численных средств анализа позволяет достаточно успешно исследовать напряженно-деформированное состояние таких тонкостенных деформируемых систем. Что же касается задач устойчивости, то достоверность полученных таким образом решений часто требует дополнительного обоснования. Дело в том, что наличие отверстий в гладкой цилиндрической оболочке приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния предшествующему потере устойчивости.

В этом случае наряду с основным напряженным состоянием, которое в процессе нагружения распространяется по всей поверхности оболочки, вокруг отверстий возникают области концентрации напряжений локального характера, которые зачастую и инициируют локальную потерю устойчивости оболочки, сопровождаемую образованием больших деформаций и существенным изменением поля напряжений. Как правило, после локальной потери устойчивости оболочка может и далее воспринимать возрастающую нагрузку вплоть до общей потери устойчивости.

Изменение геометрии и напряженно-деформированного состояния в процессе локальной потери устойчивости носят нелинейный характер, поэтому теоретически определить достоверную величину критической нагрузки, соответствующую общей потере устойчивости оболочки, часто не представляется возможным. В этих условиях чрезвычайно важными являются экспериментальные методы исследования. В тоже время корректное проведение таких исследований связано со значительными трудностями технического характера. Эти обстоятельства обуславливают актуальность экспериментальных исследований этой проблемы.

В работе представлены результаты системного экспериментального исследования докритического состояния закритических форм равновесия и критических нагрузок цилиндрических оболочек с регулярно расположенными в одном поясе среднего поперечного сечения круговыми отверстиями при осевом сжатии. Количество отверстий и их размеры изменялись в широких пределах. Испытаны 12 серий моделей. Для каждой серии оболочек суммарная площадь всех отверстий оставалась постоянной. Испытано 160 моделей цилиндрических оболочек при наличии различного количества и диаметра равномерно расположенных в окружном направлении среднего поперечного сечения круговых отверстий при осевом сжатии.

Построены и проанализированы зависимости относительной критической силы от отношения суммарной площади всех отверстий на каждой из оболочек к площади боковой поверхности. Приведены картины различного форм волнообразования при потере устойчивости в зависимости от количества и размеров отверстий. Указывается на неравномерный характер зависимости критической силы от относительной суммарной площади отверстий. Результаты представлены в виде графиков, таблиц и картин форм потери устойчивости.

ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИБУТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

Нужна С. А.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

На показники діяльності сільськогосподарських підприємств впливає велика кількість чинників зовнішнього середовища. Вони спричиняють невизначеність, на базі якої приймаються управлінські рішення, тому використання сучасних методів оптимізації діяльності підприємств у аграрному секторі економіки неможливе без розробки бізнес-плану та його аналізу з застосуванням економіко-математичних, аналітичних, імітаційних та інших моделей. Результати розрахунку економіко-математичними методами можна використати для обґрунтування управлінських рішень щодо прогнозування економічних показників і планування діяльності підприємств в майбутньому періоді.

Одним з аспектів використання економіко-математичних методів є побудова економетричних моделей, які містять взаємозв'язки показників господарської діяльності підприємств. Найбільш розробленими в теорії і такими, що широко застосовуються на практиці є парна лінійна або лінійна багатофакторна кореляційно-регресійні моделі, коли досліджуються співвідношення результативної ознаки й однієї або декількох факторних ознак.

Основним показником ефективної діяльності сільськогосподарських підприємств є чистий прибуток – це остаточна сума прибутку, отримана підприємствами від їх діяльності після сплати податків, відсотків за кредити, ренту, штрафи тощо. Для визначення внутрішніх резервів підвищення ефективності діяльності сільськогосподарських підприємств та використання їх в бізнес плануванні, можливо провести багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз, який дасть змогу оцінити силу впливу на досліджуваній результативний показник кожного із введених у модель факторів. Отже, побудуємо багатофакторну модель залежності прибутку (Y) від наступних факторів: обсяг реалізованої продукції с/г підприємств (X_1), експорт сільськогосподарської продукції (X_2), індекси сільськогосподарської продукції (у постійних цінах; % до попереднього року) (X_3), капітальні інвестиції (X_4). Модель має вид $Y = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n$.

Проведення кореляційно-регресійного аналізу виконано на основі статистичних даних роботи сільськогосподарських підприємств за 2017-2019 рр. Вибір лише річних показників є виправданим, оскільки агропромисловий комплекс – це така галузь, де обіг коштів становить один рік. Під час проведення розрахунків та побудови економетричної моделі можливо використання різних сучасних програмних засобів та сервісів, наприклад, інструментів електронних таблиць Microsoft Excel, а саме, надбудови *Анализ данных* (рис. 1). Побудована модель має вид: $Y = 0,276 \cdot x_1 + 0,0021 \cdot x_2 + 0,142 \cdot x_3 + 0,432 \cdot x_4$.

Розраховане значення коефіцієнту детермінації $R^2 = 0,937$ вказує, що зміна показника Y на 100% залежить від зміни наявних факторів X_i . Перевірка побудованої моделі за критерієм Фішера дозволяє зробити висновок стосовно її адекватності. Розрахункове значення критерію $F_{\text{розрах.}} = 22,58$ і $F_{\text{крит.}} = F_{\text{РАСПОБР}}(0,05; k_1; k_2) = 4,534$, де $k_1 = m$; $k_2 = n - m$ ($k_1 = 4$; $k_2 = 10 - 4 = 6$). Оскільки $F_{\text{розрах.}} > F_{\text{крит.}}$ ($22,58 > 4,534$), то з ймовірністю 95% можна вважати, що побудована модель адекватна даним і може бути використана для оцінки залежності прибутку від таких факторних ознак, як обсяг реалізованої продукції сільськогосподарських підприємств, експорту сільськогосподарської

продукції, індексів сільськогосподарської продукції та капітальних інвестицій, а також для прогнозування очікуваного чистого прибутку на деякий визначений період.

ВИВЕДЕННЯ ПІДСУМКІВ								
<i>Регресійна статистика</i>								
Множинний R	0,968							
R-квадрат	0,937							
Нормований R-квадрат	0,740							
Стандартна похибка	20,124							
Кількість спостережень	10							
<i>Дисперсійний аналіз</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значущість F</i>			
Регресія	4	36578,076	9144,519	22,58042	0,00212			
Залишок	6	2429,854	404,976					
Усього	10	39007,930						
	<i>Коефіцієнти моделі</i>	<i>Стандартна похибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значення</i>	<i>Нижнє 95%</i>	<i>Верхнє 95%</i>	<i>Нижнє 95%</i>	<i>Верхнє 95%</i>
X1	0,2758	0,1032	2,6721	0,3609	-0,2195	0,5173	-0,2195	0,5173
X2	0,0020	0,0036	0,5752	0,5925	-2,7473	4,3971	-2,7473	4,3971
X3	0,1415	0,2965	2,5772	0,8408	-47,8699	56,8491	-47,8699	56,8491
X4	0,4320	0,7788	2,9082	0,3609	-20,1094	8,5336	-20,1094	8,5336

Рис. 1. Результат використання інструменту *Регресія надбудови Аналіз даних*

За побудованою моделлю оцінено кількісний зв'язок між прибутком та кожним з факторів кореляційно-регресійної економетричної моделі (табл. 1), тобто побудовано матрицю.

Таблиця 1 Оцінка кількісного зв'язку

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Y	1	0,860	0,686	0,292	0,592
X ₁	0,860	1	0,889	0,202	0,803
X ₂	0,686	0,889	1	0,186	0,707
X ₃	0,292	0,202	0,186	1	0,0886
X ₄	0,592	0,803	0,707	0,0886	1

За результатами обчислень визначено, що між результативною та факторними ознаками існує досить сильний кореляційний зв'язок. Для оцінки еластичності обчислено часткові коефіцієнти еластичності, які вказують на скільки відсотків в середньому змінюється прибуток зі зміною на 1% фактора x_i при фіксованому значенні інших параметрів. Коефіцієнти еластичності обсягів чистого прибутку за обсягом реалізованої продукції є найбільшим, а за іншими показниками мають майже однакове значення.

Показник	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Коефіцієнт еластичності	1,538	0,009	0,018	0,054
t-статистика $t_{крит}(0,05;5)=2,571$	2,672	0,57	2,577	2,91

У результаті проведених досліджень можна відзначити, що на обсяг чистого прибутку найбільший відносний вплив має обсяг реалізованої продукції сільськогосподарських підприємств, потім – капітальні інвестиції, величина експорту, індекси сільськогосподарської продукції.

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Багрій В.В., Трикіло А.І., Давидчик О.М.*, Волошин Р.В.

Дніпровський державний технічний університет

**Індустріальний коледж УДХТУ*

Основною метою даної роботи є розробка первинної обробки даних, з використання оптимального інерційно-форсуючого фільтру Вінера першого порядку для удосконалення рентгенівської комп'ютерної томографії. Для зменшення впливу шумів і артефактів на подальшу обробку інформації і витягання з нього корисної складової широко застосовуються дискретне перетворення Фур'є, швидке перетворення Фур'є, цифрові фільтри і вейвлет-перетворення. Як видно із структурної схеми обробки сигналу (рис.1), на датчик поступає зашумлений сигнал.



Рисунок 1. – Структурна схема обробки сигналу.

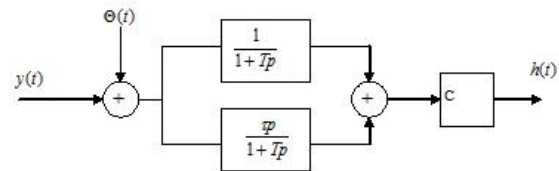


Рисунок 2. – Варіант оптимального статистичного фільтру каналу виміру.

Для корисного сигналу:

$$K_y(\tau) = \sigma_y^2 \exp(-\alpha\tau), \quad (1)$$

для не корельованої перешкоди довільної форми:

$$K_\Theta(\tau) = k\sigma_y^2 \exp(-m\alpha\tau). \quad (2)$$

де σ_y^2 - дисперсія корисного сигналу; α - параметр загасання автокореляційної функції корисного сигналу, Гц; k - коефіцієнт відношення дисперсій перешкода-сигнал (звичайно менше одиниці); m - параметр частотного діапазону перешкоди.

$$K_\Theta(\tau) = G_\Theta \delta(\tau), \quad (3)$$

де G_Θ - інтенсивність білого шуму. Синтезуємо фільтр, який забезпечує виділення корисного сигналу $y(t)$, що спостерігається з адитивною не корельованою перешкодою $\Theta(t)$. Фур'є - перетворення дозволяє записати спектральну щільність сигналу і перешкоди:

$$S_y(\omega) = \frac{\sigma_y^2 \alpha}{\pi} \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad (4)$$

$$S_\Theta(\omega) = \frac{\sigma_y^2 \alpha}{\pi} \frac{mk}{m^2 \alpha^2 + \omega^2}. \quad (5)$$

Ідеальний сигнал на виході в завданні відтворення сигналу на тлі перешкоди: $h_T(t) = y(t)$. Частотна характеристика оптимального за критерієм мінімуму сталої середньоквадратичної помилки фільтру Вінера має вигляд:

$$H(j\omega) = \frac{1}{S_z(j\omega)_+} \left[\frac{S_y(\omega)}{S_z(j\omega)_-} \right] \quad (6)$$

Спектральна щільність вхідного сигналу:

$$S_z(\omega) = 2\sigma_y^2 \alpha (1 + mk) [\beta^2 + \omega^2 / (\alpha^2 + \omega^2)(m^2 \alpha^2 + \omega^2)], \quad (7)$$

де: $\beta^2 = m\alpha^2(m+k)/1+mk$.

Факторизація спектральної щільності вхідного сигналу:

$$[S_z(j\omega)_+][S_z(j\omega)_-] = 2\sigma_y^2 \alpha (1 + mk) \frac{(\beta + j\omega)(\beta - j\omega)}{(\alpha + j\omega)(\alpha - j\omega)(m\alpha + j\omega)(m\alpha - j\omega)} \quad (8)$$

$$[S_z(j\omega)_+] = \sqrt{2\sigma_y^2 \alpha (1 + mk)} * \frac{(\beta + j\omega)}{(\alpha + j\omega)(m\alpha + j\omega)} \quad (9)$$

$$[S_z(j\omega)_-] = \sqrt{2\sigma_y^2 (1 + mk)} * \frac{(\beta - j\omega)}{(\alpha - j\omega)(m\alpha - j\omega)} \quad (10)$$

Знайдемо відношення спектральної щільності сигналу до факторизованої спектральної щільності з нестійкими складовими:

$$\left[\frac{S_y(\omega)}{S_z(j\omega)_-} \right] = \frac{2\sigma_y^2 \alpha}{\alpha^2 + \omega^2} * \frac{(\alpha - j\omega)(m\alpha - j\omega)}{\sqrt{2\sigma_y^2 \alpha (1 + mk)(\beta - j\omega)}} = \quad (11)$$

$$= \sqrt{\frac{2\sigma_y^2 \alpha}{1 + mk}} * \frac{m\alpha - j\omega}{(\alpha + j\omega)(\beta - j\omega)} = A \frac{m\alpha - j\omega}{(\alpha + j\omega)(\beta - j\omega)}$$

де: $A = \sqrt{\frac{2\sigma_y^2 \alpha}{1 + mk}}$. Коефіцієнт передачі оптимального фільтру визначається формулою:

$$C = \frac{m(m+1)}{\sqrt{m(m+k)} [\sqrt{1+mk} + \sqrt{m(m+k)}]}. \quad (12)$$

Простежимо вплив зростання відношення перешкода/корисний сигнал на властивості статистичного фільтру (рис. 2) небілої перешкоди. $\psi = \sqrt{\frac{1+\frac{k}{m}}{1+mk}} = 0$; $C \rightarrow \frac{1}{2}$

граничне. Тоді $H(p) = \frac{C}{1+Tp}$ фільтр є чисто інерційною ланкою першого порядку (інерційним підсилювачем).

$$\psi = \sqrt{\frac{1+\frac{m}{k}}{m(\frac{1}{k}+m)}} = \frac{1}{m} \ll 1; C \rightarrow 0. \quad (13)$$

Оцінимо точність виділення корисного сигналу системою, що оцінюється середнім квадратом погрішності $e(t) = h_T(t) - h(t)$ та $\sigma_e^2 = \sigma_{h_T}^2 - \sigma_h^2$. Так якщо $\sigma_e^2 = \sigma_y^2$, то,

$$\sigma_{h_T}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |H(j\omega)|^2 S_z(\omega) d\omega. \quad (14)$$

Виходячи з (6), квадрат модуля частотної характеристики оптимальної системи буде: \square

$$|H(jw)|^2 = C^2 \frac{1 + \tau^2 w^2}{1 + T^2 w^2}. \quad (15)$$

З врахуванням (9), отримаємо:

$$\sigma_h^2 = 2C^2 \sigma_y^2 \alpha \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1 + \tau^2 w^2}{1 + T^2 w^2} \left[\frac{1}{\alpha^2 + w^2} + \frac{mk}{m^2 \alpha^2 + \varphi^2} \right] dw \quad (16)$$

Після розкладання на елементарні дроби та перетворень, останній інтеграл набере вигляду:

$$\begin{aligned} \sigma_h^2 = 2C^2 \sigma_y^2 & \frac{1}{1 - \alpha^2 T^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{1}{\alpha^2 + w^2} - \frac{T^2}{1 + T^2 w^2} \right] (1 + \tau^2 w^2) dw + \\ & + \frac{mk}{1 - m^2 \alpha^2 T^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\frac{1}{m^2 \alpha^2 + w^2} - \frac{T^2}{1 + T^2 w^2} \right] (1 + \tau^2 w^2) dw. \end{aligned} \quad (17)$$

Після інтеграції:

$$\sigma_h^2 = 2\pi C^2 \sigma_y^2 \left[\frac{1 + \alpha \tau^2 / T}{1 + \alpha T} + \frac{k(1 + m \alpha \tau^2 / T)}{1 + m \alpha T} \right]. \quad (18)$$

Визначимо середньоквадратичну погрішність через параметри корисного сигналу і небілої перешкоди:

$$C^2 \left[\frac{1 + \alpha \tau^2 / T}{1 + \alpha T} + K \frac{1 + m \alpha \tau^2 / T}{1 + m \alpha T} \right] \leq \frac{1}{2\pi}, \quad (19)$$

де параметри C, T, τ виражені формулами (6), одночасно визначають допустиму область змін параметрів перешкоди:

$$C^2 \left[\frac{1 + \alpha \tau^2 / T}{1 + \alpha T} + \frac{1 + m \alpha \tau^2 / T}{1 + m \alpha T} \right] \leq \frac{1}{2\pi}. \quad (20)$$

Тоді при $m = 1, \tau = T = \frac{1}{\alpha}; C = \frac{1}{1+k}$ із формули (15) витікає, що:

$$\left(\frac{1}{1+k} \right)^2 (1+k) \leq 1/2\pi, \quad (21)$$

або $k \geq 2\pi - 1$. Тобто допустима область визначення параметрів небілої перешкоди є напівпряма: $m = 1; 2\pi - 1 \leq k \leq \infty$. (16).

Таким чином, в роботі приведено математичну модель первинної обробки даних, з використання оптимального інерційно-форсуючого фільтру Вінера першого порядку для удосконалення рентгенівської комп'ютерної томографії. Показано ефективність первинної обробки даних, спотворених не білим шумом, структурно оптимальним інерційно-форсуючим фільтром Вінера першого порядку.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕДЕНОГО ШКІВУ ПЛОСКО-ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ

Волосова Н.М., Кучугурний Д.А., магістрант групи ТМ-20-1дм

Дніпровський державний технічний університет

Запропоновано варіант технологічного процесу виготовлення веденого шківів плоско-пасової передачі приводу з черв'ячним редуктором з верхнім розташуванням черв'яка. Шківів застосовуються для різних швидкостей обертання, що дозволяє змінювати частоту обертання швидкохідного вала виконавчого механізму шляхом перекидання ременя з одного шківів на інший. Такий підхід вигідний у разі нечастої зміни частот обертання, при цьому відпадає необхідність застосування дорогих коробок змінних швидкостей. Але при цьому суттєвим недоліком є необхідність зупинки механізму для зміни пари шківів. Розроблена методика представляє технологію розробки та виготовлення веденого шківів плоско-пасової передачі, що забезпечить випуск деталей необхідної якості для заданої річної програми випуску.

Технологічний процес складається з наступних етапів:

1. Вибір оптимального методу отримання заготовок, який виконується виходячи з врахування умов для забезпечення підвищення продуктивності праці, зниження матеріало- та енергомісткості, заданого рівня якості виробів та їх властивостей, екологічних вимог.
2. Розробка маршруту виготовлення деталі та раціонального вибору устаткування. На цьому етапі розробляється план обробки кожної з поверхонь, виконується раціональний вибір устаткування для забезпечення точності розмірів, форми і якості деталей. При виборі конструкції та розмірів інструментів враховуються вид обробки, розміри поверхні, властивість матеріалів, необхідна точність обробки.
3. Вибір технологічних баз. Від їх правильного вибору залежать фактична точність розмірів і їх відповідність, правильність розташування оброблюваних поверхонь, точність обробки, загальна продуктивність обробки заготовки.
4. Проектування заготовок. На цьому кроці визначаються розміри заготовки з урахуванням припусків, розраховуються режими різання.
5. Розрахунок режимів різання та технологічних норм часу для кожної операції за існуючими нормами та стандартами.

За розробленою методикою створена математична модель даного технологічного процесу, яка реалізована в середовищі візуального програмування MathCAD. За нею виконана розробка конструкції та технології виготовлення веденого шківів плоско-пасової передачі приводу з черв'ячним редуктором з верхнім розташуванням черв'яка.

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Шматко Д.З., Авер'янов В.С.

Дніпровський державний технічний університет

Залежності собівартості перевезень від вантажопідйомності рухомого складу і розміру партій вантажів, що завозяться дозволяє уточнити й комплексно проаналізувати моделі управління запасами і вибору транспортних засобів.

Найпростішою моделлю управління запасами є модель, в якій затрати на виконання замовлення не залежить від розміру партії вантажу.

Але більш поширеним випадком є випадок, коли вартість виконання замовлення партії вантажу розміром q .

$$S_{зам}(q) = a_{e.з} + b_{e.з} \cdot q, \quad (1)$$

де $a_{e.з}$ та $b_{e.з}$ — сталі величини.

Використовуючи отримані залежності, модель затрат можна подати таким чином: вартість організації замовлення партії вантажу

$$S_{зам}(q) = \begin{cases} a_{e.з} + b_{e.з} \cdot q, & q > 0; \\ 0, & q = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Вартість доставки 1т вантажу визначається виразом

$$S_m(q) = \begin{cases} a_1, & q > q_a \gamma_{ст}; \\ a_2 + \frac{b_2}{q} + c_2 q, & q = q_a \gamma_{ст}; \\ a_3 + \frac{b_3}{q}, & q < q_a \gamma_{ст}. \end{cases} \quad (3)$$

а вартість збереження запасу x протягом одиниці часу

$$S_{зб}(x) = \begin{cases} C_{зб}x + pq, & x \geq 0 \\ pq, & x < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Виходячи з конкретних умов, можна встановити взаємозв'язок між відстанню перевезення вантажу, розміром його денного споживання, вартістю вантажу та оптимальною вантажопідйомності рухомого складу, при якій сумарні затрати, що складаються з затрат на перевезення вантажу, вартості матеріальних засобів в обігу та капіталовкладень в рухомий склад й складське господарство, досягають мінімуму.

Список використаної літератури

1. Русев Г.В. Организация автомобильных перевозок. Київ: Вища школа, 1991. 256 с.
2. Шматко Д.З., Кочнева О.В., Персань В.В. Врахування випадкових факторів методами моделювання при розрахунку оптимальної структури парку АТП. *Математичні проблеми технічної механіки*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпродзержинськ, 22 квіт., 2014). Дніпродзержинськ, 2014. С. 115
3. Шматко Д.З. Розрахунок кількості і пропускної здатності навантажувально-розвантажувальних пунктів. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. Дніпропетровськ, 2007. №1 (48). С. 51–61.
4. Організація та планування автомобільних вантажних перевезень: Монографія. / Д.З. Шматко та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2020. 168 с.

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРИ ВІД ЧАСУ РУХУ ПРИ ФІКСОВАНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ В РІЗНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЗОНАХ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН

Сасов О.О.

Україна, Дніпровський державний технічний університет

За статистикою більшість пневматичних шин, що застосовуються на автомобільному транспорті виходить з ладу в результаті термічного руйнування в зоні стику протектора з підканавочним шаром і каркасом. Якщо не вжити конструктивних або технологічних заходів, то ресурс шини може бути вичерпаний задовго до досягнення заданої величини. Для цього необхідно при конструюванні шин визначення ефективних режимів експлуатації, дозволяють отримати максимальний їх ресурс при заданій допустимій температурі.

Для визначення температур досліджувалася шина наднизького тиску моделі 67 × 43.00LR25. Проведено оцінку її теплового стану, яка дозволила в якості основних факторів, які найбільшою мірою впливають на тепловий стан пневматичних шин, вибрати: внутрішній тиск; радіальне навантаження, швидкість руху; час руху [1].

Статистичний аналіз [2, 3] парних залежностей температури від часу руху при фіксованому навантаженні на шину рівній 27000 Н показав, що коефіцієнт парної кореляції змінюється в діапазоні $r_{xy} = 0,7368-0,7550$, і залежність температури від часу руху може бути описана логарифмічною або лінійною залежністю:

$$y_{c1} = 7,9 \ln t + 7,9; \quad y_{c2} = 8,02 \ln t + 10,87; \quad y_{c3} = 8,36 \ln t + 12,49, \quad (1)$$

де y_{c1} - температура в центральній зоні шини; y_{c2} - температура в підканавочній зоні шини; y_{c3} - температура в плечовій зоні шини.

Або

$$y_{c1} = 0,36t + 21,44; \quad y_{c2} = 0,36t + 24,61; \quad y_{c3} = 0,38t + 26,88. \quad (2)$$

Для досліджуваного інтервалу часу залежність зміни температури носить лінійний характер. Однак в процесі експлуатації пневматичних шин температура після певного часу руху рухомого складу стабілізується. Тому в відповідно до реальних умов експлуатації дана залежність є нелінійною. При фіксованому навантаженні 32000 Н коефіцієнт парної кореляції $r_{xy} = 0,7077-0,7053$, а залежність температури від часу руху матиме вигляд:

$$y_{c1} = 8,03 \ln t + 6,68; \quad y_{c2} = 7,07 \ln t + 16,22; \quad y_{c3} = 7,85 \ln t + 15,44. \quad (3)$$

При фіксованому навантаженні рівній 38000 Н коефіцієнт парної кореляції $r_{xy} = 0,8062-0,7102$, а залежність температури від часу руху матиме вигляд:

$$y_{c1} = 5,67 \ln t + 11,56; \quad y_{c2} = 4,29 \ln t + 23,98; \quad y_{c3} = 4,82 \ln t + 23,61. \quad (4)$$

Отримані результати аналізу залежностей температури від часу руху при різних фіксованих навантаженнях і в різних конструктивних зонах шини свідчать про те, що стабільно спостерігається збільшення температури шини при збільшенні часу руху. З огляду на величину коефіцієнта кореляції і перевірки його на значимість при рівні помилки 0,05 можна стверджувати, що проведені експериментальні дослідження підтверджують теоретичні передумови.

1. Сасов А.А. Прогнозирование выходных характеристик шин сверхнизкого давления для автомобилей и тракторов. Дис. канд.техн. наук.- Киев, 2007.- 210 с.
2. Джонсон Дж. Эконометрические методы.-М.: Статистика, 1980.- 437с.
3. Клас А., Герли К., Колек Ю., Шуян И. Введение в эконометрическое моделирование. - М.: Статистика, 1978.- 123с

**МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ****“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021”****ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА
МОДЕЛЮВАННЯ В СОЦІАЛЬНІЙ СФЕРІ, ЕКОНОМІЦІ
МОДЕЛІ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ КІБЕРБЕЗПЕКОЮ****MODERN METHODS OF INFORMATION PROTECTION****Katkova T., Bryla K.***University of Customs and Finance, Dnipro*

The problem of information security is quite relevant today. It concerns both the protection of information from changes, the preservation of valuable data, including the secrecy of correspondence in electronic communication, and the vital interests of any state. A necessary condition for the development of society and the state is the creation of a developed and protected environment. This should be based on the latest automated technical means.

Today, the protection of computer networks from unauthorized access is characterized by a significant increase in the importance of software and cryptographic mechanisms compared to hardware. New problems of information security require the use of mechanisms with higher computational complexity.

**MODERN TECHNOLOGIES OF WIRELESS ACCESS IN
TELECOMMUNICATION SYSTEMS****Stelyuk B.B., Kostenko V.V., Semenenko O.A.***University of Customs and Finance*

The peculiarities of construction of complex information and telecommunication systems of special purpose are considered in the work by taking into account the automated territorially distributed system of the unified regional operational and control centers are substantiated by the general and special requirements to the applied telecommunication technologies.

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN IT-PROJECT MANAGEMENT

Stelyuk B.B., Ulyanovska Yu.V., Brila K.S.
University of Customs and Finance

The article is devoted to information technologies in IT project management. The role and importance of information technologies in IT project management are studied, as well as the main advantages of using IT project management information systems are revealed. Well-known information systems for project management are identified, a review of the evaluation of the effectiveness of the use of IT project management systems. Features of functional security management of IT projects are given.

IMPROVING THE SYSTEM OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROTECTION AT THE TECHNICAL ENTERPRISE

Katkova T., Filipov M.
University of Customs and Finance, Dnipro

Every day the number of enterprises, whatever they may be: technical, chemical, those that provide services or create spiritual values. With each such discovery, the amount of information coming from different sources increases, whether from the client, or working questions and answers to them, or professional secrets or production technologies. Such information has its price, so loss or leakage has bad consequences, both for the company, if it is commercial private information, and for customers, if it is personal data. And as cybercrime cases involve the loss of personal information, cybersecurity issues are more relevant than ever for all activities, especially in manufacturing, as it is revenue for both the state and its own.

In order to protect information at the technical enterprise it is planned to improve its information system, which has many shortcomings, as shown by our study. The identified shortcomings allow full access to commercial information.

We can conclude that information security today is an urgent problem that must be addressed for all individually. In this case, the system will have hardware and software components and organizational arrangements will be made to update all system components and monitor the operation of these components.

DEVELOPMENT OF PROJECTS BY WEB TECHNOLOGIES: CURRENT TRENDS

V.Klym, K. Bryla
University of Customs and Finance

The paper considers the trends in the development of a popular direction of information technology - web technology: current issues related to both software developers and potential users of the final product. The main global trends in web technologies are Progressive Web Apps (PWA), Voice Search Optimization, Automation Testing and JavaScript Frameworks. In general, web developers are divided into two main camps according to the specialization in one of two areas: the so-called front-end and back-end development. An important place in the competencies of web developers is occupied by skills in the development of user interface (UX) and user interface design (UI). The main requirements for mid-level web technology specialists in Ukraine are formulated.

ПРО ВИКОРИСТАННЯ МНОЖИНИ КАНТОРА В ОПЕРАЦІЇ МУТАЦІЇ ДЛЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Олійник Л.О., Бажан С.М.

Дніпровський державний технічний університет

Предмет дослідження: операція мутації при використанні в генетичному алгоритмі.

Мета роботи: дослідження процесу мутації, для якої в області пошуку використовується множина Кантора, при застосуванні модифікованого генетичного алгоритму для знаходження мінімуму функції однієї змінної ([1]).

В роботі ([2]) представлено результати дослідження та аналізу впливу деяких процедур мутації на швидкість досягнення розв'язку задачі пошуку глобального екстремуму функції однієї змінної при застосуванні модифікованого генетичного алгоритму, де операторами «узагальненого кросоверу» та «узагальненої мутації» є стохастичні матриці. В даній роботі пропонується операція мутації, де в область пошуку входять точки множини Кантора, саме для застосування операції мутації.

Нехай на деякому ітераційному кроці модифікованого алгоритму відрізок (a, b) визначено як область пошуку розв'язку. Для побудови множини Кантора, яка слугуватиме основою процедури мутації, розтягнемо (a, b) до відрізка $(2a - b, 2b - a)$. Вибравши довільну точку x_0 цього відрізка (наприклад точку a), застосуємо процедуру ігор хаоса, для якої кінцеві точки відрізка слугують аттракторами. Отримаємо послідовність точок $x_n = \frac{x_{n-1} + 2X_A}{3}$ де $x_1 = \frac{a + 2X_A}{3}$, а X_A точка, яка обирається випадковим чином з множини, що містить два елементи $\{2a - b, 2b - a\}$. Поклавши, наприклад, $n = 20$, отримаємо множину точок, які є елементами множини Кантора. Ці точки ні в якому разі не належать відріжку (a, b) , тобто отримана множина $\{x_n\}_{n=1}^{20}$ дасть змогу перевірити значення фітнес-функції за його межами. Цю процедуру можна вважати аналогом мутації в її класичному розумінні.

За допомогою програми розробленої на алгоритмічній мові C# у програмному додатку VisualStudio було запрограмовано даний процес мутації, та виведено його графічне представлення (Рис.1). На графіку відображені множина точок Кантора безпосередньо на вісі та значення фітнес-функції в них для тестових функцій.

Для проведення дослідження було обрано функцію Растрігіна, ця функція має велику кількість локальних екстремумів, та глобальний в точці $(0;0)$, та тестова функція, яка має два екстремуми. Кількість точок множини Кантора залежить від складності досліджуваної функції. В представленому випадку на кожній ітерації було створено по 20 точок. Слід зазначити, що оскільки кожний ітераційний відрізок зменшується, то щільність точок на відріжку збільшується. Також на кількість побудованих множин Кантора впливає кількість ітерацій. На першому графіку для функції Растрігіна було виконано 54 ітерації і множина Кантора не така щільна при збільшенні кількості ітерацій наприклад 700 або 2000 щільність буде велика і графік буде майже неперервний. Аналогічно було проведено дослідження і для другої функції, на рисунку зображений пошук екстремуму за 129 ітерацій.

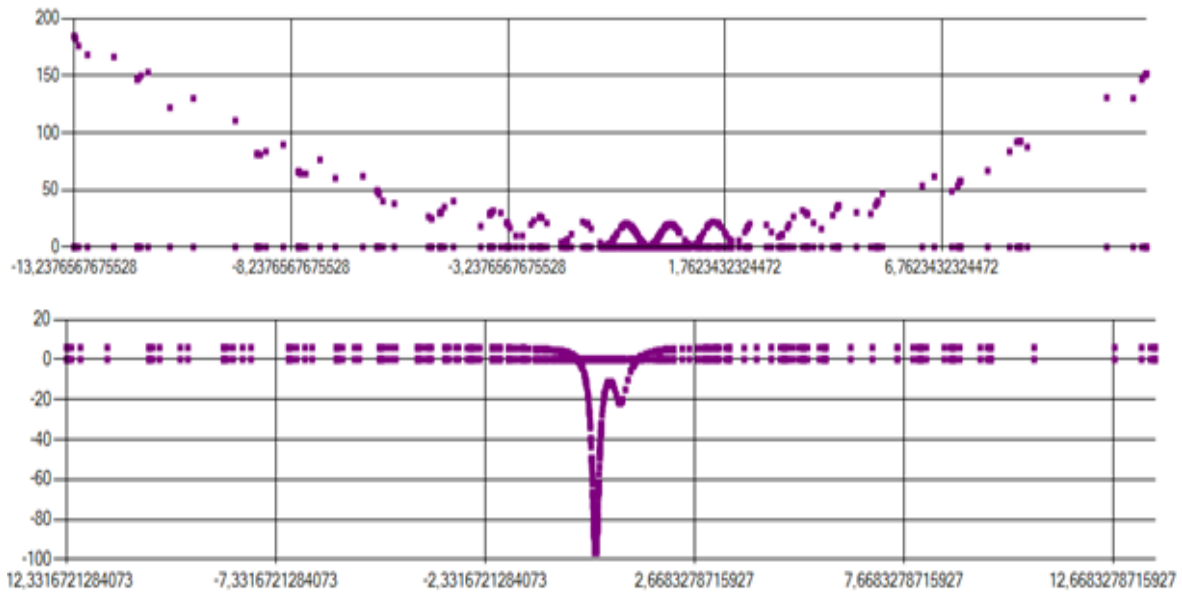


Рис.1 Множини Кантора для тестових функцій

Отже, використання в області точок множини Кантора для здійснення процесу мутації є доцільним, але не для початкових ітерацій. На початку пошуку відрізок досить великий і ефективність мутації низька, але при зменшенні відрізка пошуку збільшується щільність множини і процес мутації прискорює роботу алгоритму. Слід відзначити, точки множини Кантора можна використовувати для фінальної перевірки знайденого екстремуму, на предмет хибності.

Висновки.

Як показано на прикладі тестових фітнес-функцій запропонована процедура мутації яка використовує точкимоножини Кантора, при застосуванні модифікованого генетичного алгоритму для знаходження мінімуму функції однієї змінної має сенс. При певних умовах запропонована процедура пришвидшує роботу алгоритму.

Перелік посилань.

1. Олійник Л.О., Бажан С.М. Алгоритм пошуку екстремумів функції однієї змінної с.44-50// Математичне моделювання: Науковий журнал. - Кам'янське: ДДТУ.2019.- №1(40). - 210с [Oliynyk L.O., Bazhan S.M.,Algorithm for finding the extrema of a function of on evariable].
2. Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan. (2020) About Features of Mutation Applicationina Modified Operator Genetic Algorithm. International Academy Journal Web of Scholar. 8(50). doi: 10.31435/ rsglobal_wos/30122020/7324.

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM AT THE ENTERPRISE

Katkova T., Khilko M.

University of Customs and Finance, Dnipro

The modern enterprise is a rather complex system, the distinctive features of which are: complex organizational structure; multi functionality; high technical equipment; large amounts of information that arrives and requires modern methods of transmission, storage and processing; large external links; work in the conditions of the most various threats to information security.

Ensuring the safety of such an enterprise requires the involvement of the entire existing arsenal of means of protection in all structural units of the production system and at all stages of the technological and software cycle of information processing. The greatest effect can be achieved only when all the tools, methods and measures used are combined into a single mechanism - the information protection system (GIS). Such a system includes: organizational, legal and engineering measures aimed at ensuring the protection of information from leakage and unauthorized access. The functioning of the system should be monitored, updated and supplemented depending on changes in external and internal conditions.

The system developed in this way will include technical and software components and will include in the work of the enterprise organizational measures in order to timely update all components of the system and monitor the correct operation of these components. All this will allow the information protection system to be completely reliable and to anticipate the maximum possible number of threats.

PROVISION OF INFORMATION SECURITY AND ORGANIZATION OF PROTECTION OF PERSONAL DATA IN SOCIAL NETWORKS

Katkova T., Vityugova A.

University of Customs and Finance, Dnipro

Today, there are advanced Internet technologies that allow you to connect with a person on the other side of the globe in a matter of seconds, to unite people in groups to discuss various issues, to establish social contacts. But in addition to ease of use, they hide many dangers in the context of privacy for ordinary users, in particular when they use social networks as the latest means of global communication. The information that our information systems automatically exchange with remote servers, including foreign ones, is such that “a person can be specifically identified”, ie, according to Ukrainian law and international law, such information is in fact “personal data” that determine an integral part of a person's private life.

Research statistics show that the trend of Internet fraud is growing every day. So, based on the study, we can conclude that the confidentiality of the network and data protection of the individual lies solely with him. The presence of threats to human information security on social networks does not mean that you should be afraid to use them or delete them immediately.

For safe use, you should carefully consider what information about yourself can be posted on a social network; do not indicate in any case your personal data and personal data of other people. Usually the weakest link in the network is the person, not the program code.

ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ІНДУКЦІЙНИМИ РЕОСТАТАМИ

Житкевич Н.Ю., Горбачев В.О., С'янов О.М., Косухіна О.С.
Дніпровський державний технічний університет

Низька надійність контакторної апаратури і громіздкість реостатів викликають необхідність пошуку більш надійних і компактних систем управління пуском асинхронних двигунів (АД). Одним із способів рішення даної проблеми є включення в коло ротора індукційного реостата (ІР) [1]. Фізичні процеси в ІР описуються системою диференціальних рівнянь Максвелла для анізотропних нелінійних середовищ.

Для приведення тривимірної польової задачі

$$\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) + \sigma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{J}, \quad (1)$$

де \vec{A} - векторний магнітний потенціал; ν - магнітний опір матеріалу; σ - питома провідність середовища; \vec{J} - щільність струму.

Приймаються припущення:

-не враховуються контактні електрорушійні сили (ЕРС), що виникають між дотичними провідниками різного хімічного складу і ЕРС Томсона, що виникає при зміні градієнта температури в ІР;

-не враховуються струми провідності в діелектриках;

-значно мало впливає механічна напруга на параметри і розміри ІР;

-у статичних і динамічних режимах роботи температура ІР змінюється незначно і не впливає на параметри і розміри ІР.

Це дозволяє звести тривимірну польову задачу до плоскопаралельної [2]. Рівняння (1) розглядається в циліндричних координатах і розв'язується методом скінчених елементів. Отримані значення електромагнітних параметрів ІР використовуються для розрахунку статичних характеристик АД з ІР за рівнянням виду

$$[\dot{U}] = [\dot{Z}] [i], \quad (2)$$

де $[\dot{U}]$ - матриця напруг; $[\dot{Z}]$ - матриця електромагнітних параметрів АД з ІР; $[i]$ - матриця струмів.

Алгоритм розрахунку статичних характеристик АД з ІР складається з двох основних етапів: на першому етапі визначаються характеристики та електромагнітні параметри ІР; на другому етапі одержані значення електромагнітних параметрів використовуються для розрахунку статичних характеристик з використанням рівняння (2). Створена комп'ютерна реалізація дозволяє виконувати оптимізаційні розрахунки конструкції ІР з урахуванням електромагнітних параметрів двигуна. В результаті цього визначаються характеристики і електромагнітні параметри ІР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Качура О.В., Количев С.В. Індукційні реостати з покращеними масо габаритними показниками для асинхронних двигунів з фазним ротором/Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. - 209 с.
2. О.М. С'янов, О.С.Косухіна Р.М. Поляков Дослідження впливу частоти струму на опір індукційного реостату за допомогою розв'язку рівнянь поля в тривимірній постановці. Математичне моделювання. №2 (37) – Кам'янське, 2017. – С. 25-28.

MULTICRITERIAL EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF WORK SYSTEM

Mormul M.F., Shchytyov D.M., Kurbats'ka E.S.
University of Customs and Finance

The setup of the task of vector problems of optimization and multicriteria choice of alternatives is considered. The main problems are given in solving such tasks. The task is considered - an assessment of the functioning of the system and the use of various methods of multicriteria choice of alternatives.

DIRECTIONS OF STATE POLICY AND PROVISION OF INFORMATION SECURITY IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Katkova T.I., Gaidarzhysky V.M.
University of Customs and Finance

The article reveals the essence and significance of the information security system, explores the features of the state information policy, analyzes the basic concepts of information security and information policy improvement to ensure the realization of national interests and information support of the state socio-economic policy.

THE TASK OF THE COMER IN SCALAR AND VECTOR PRODUCTIONS AND ITS SOLVING

Mormul M.F., Shchytyov D.M., Slishik T.O.
University of Customs and Finance

The task of the salesman in scalar and vector productions is considered. The problems of multicriteria optimization are indicated. The method of drawing up a problem in vector setting to the standard scalar task of the salesman is given. Different methods of solving the scalar task of the salesman and the method of application of the method of reducing rows and columns are considered.

MODELS AND METHODS OF SOLVING THE PROBLEM PURPOSE IN DIFFERENT STATIONS

Mormul M.F., Shchytyov D.M., Kucher A.S.
University of Customs and Finance

The scalar raising of standard and generalized tasks about setting are considered. Different complications which can arise up in such tasks and are indicated methods of decision of these tasks are determined. The model of task of distributing of commercial agents on cities is led. The model of task about setting in the multicriterion raising and method of its decision is considered.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ МАРКЕТИНГУ

Стеблюк Н. Ф., Новак В. В. (ст. гр. МЕН-20-1дм)

Дніпровський державний технічний університет

У зв'язку з фундаментальними змінами в сфері поширення інформації, обумовленими зростаючою роллю Інтернету й соціальних мереж, можна стверджувати, що саме за останні десятиріччя маркетинг, як концепція бізнесу, переживає якісні внутрішні зміни, доповнені новими технологічними можливостями. Актуальним у цьому випадку є використання систем штучного інтелекту, що реалізуються різними засобами: нейронними мережами, генетичними алгоритмами, системами нечіткої логіки та ін. Характерною особливістю штучного інтелекту є обробка величезних обсягів даних, фільтрованих за допомогою алгоритмів щоб створити системи, які безперервно навчаються на основі отриманої інформації.

Штучний інтелект – це здатність спроектованої системи здобувати, обробляти та застосовувати знання та вміння [1]. У маркетингових же цілях штучний інтелект зазвичай виявляється у складі програмного забезпечення, яке виконує певні функції, починаючи від аналітики, закінчуючи створенням персоналізованої пропозиції, а також може накопичувати досвід та навчатися в рамках своїх задач. В цілому штучний інтелект може виконувати такі типи задач:

Автоматизація процесів. Найчастіше автоматизація адміністративної та фінансової роботи бек-офісу за допомогою роботизованих технологій обробки (RPA). Приклад: перенесення даних з електронної пошти і систем call-центру в бази даних, заміна загублених карток.

Аналіз інформації. Використовує алгоритми для виявлення та інтерпретації закономірностей у величезних обсягах даних. Приклад: передбачення інтересів клієнту, автоматизація таргетингу.

Системи взаємодії. Взаємодіють з людьми за допомогою мови, з застосуванням чат-ботів, інтелектуальних агентів і машинного навчання. Приклад: внутрішні сайти для відповідей на питання співробітників, інтелектуальні агенти, які обслуговують клієнтів 24/7[2].

Як приклад складної системи штучного інтелекту можна розглянути AmazonGo, де кожна дія покупця відстежується камерами й датчиками, що розпізнають обличчя, визначають зріст, вагу, колір шкіри та інші фізичні характеристики клієнтів та відстежують їх інтерес к товару. Штучний інтелект аналізуючи ці дані визначає найбільш популярні товари у різних груп споживачів та вносить пропозиції до зміни цінової політики [3]. Також у 2018 році Walgreen's почав тестувати «розумні» холодильники з сенсорними дисплеями. Ці холодильники оснащені камерами розпізнавання осіб, що визначають зв'язок між групами покупців та товарами, що вони покупають частіше. Також штучний інтелект холодильника має зв'язок з системою інвентаризації і коли якийсь товар закінчується, повідомляє про це на склад. Крім цього, штучний інтелект аналізує зібрану інформацію і на основі цих даних персоналізує рекламу під конкретних покупців [3].

Технології штучного інтелекту вкоренилися в сферу маркетингу й стали ключовою тенденцією поточного часу (табл.1).

Використання штучного інтелекту в маркетингу[4]

Інструменти штучного інтелекту	Компанія/продукт
Дизайн сайту	Wix.com /Wix (Ізраїль) Bookmark / Bookmark (Канада) Firedrop Ventures Ltd./ Firedrop (Англія)
Створення контенту	AutomatedInsights/ Wordsmith (США) Articoolo Inc./Articoolo(США) Oculus/ Quill(США)
Чат-боти	IBM/ Watson (США) Google Inc./ Google Assistant (США) AppleInc./Siri (США)
CRM-системи	Salesforce/Einstein(США) Wrike Inc./ Wrike(США) Bitrix Inc./ Bitrix24(Росія)
Кібербезпека	ImmuniWeb/Discovery, On-Demand, MobileSuite,Continuous (Швейцарія) CylanceInc./Protect, Optics, Guard (США)

Аналіз маркетингових досліджень свідчить, що понад 70% компаній роздрібної торгівлі та виробництва споживчих товарів у майбутньому використовуватимуть інструменти інтелектуальної автоматизації на всіх ланцюжках створення вартості, а саме: планування ланцюжка поставок (85%); прогнозування попиту (85%); клієнтський інтелект (79%); маркетинг і реклама (75%); складські операції (73%); ціноутворення і просування (73%).

Таким чином, нові можливості постійно зростають, оскільки штучний інтелект розкриває свій справжній потенціал — створюючи феноменальні технології. Штучний інтелект - технологія що стала невід'ємною частиною сучасного маркетингу.

Література

1.ISO/IEC TR 24028:2020 Information technology - Artificial intelligence - Overview of trustworthiness in artificial intelligence. *International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commissio*. May 2020. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:tr:24028:ed-1:v1:en>

2.Дейвенпорт Т., Раджив Р. Искусственный интеллект для реальной жизни URL:<https://hbrrussia.ru/innovatsii/tekhnologii/a26371>

3. Роботи атакують: як використовують штучний інтелект в рітейлі. URL:<https://rau.ua/dosvid/innovacii/ykusstvennyj-yntellekt-v-rytejle/>

4.Стеблюк Н.Ф., Копейкіна Є.В. Технології штучного інтелекту в маркетингу. *Приазовський економічний вісник*. Випуск 3(14). 2019.С. 462-466.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ КОМП'ЮТЕРНОЮ ГРОЮ «ЗМІЙКА»

Олійник Л.О., Зюзь О.В.

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

В роботі досліджується структура нейронної мережі, яка керує поведінкою «змійки» в однойменній комп'ютерній грі. Ціль гри – зібрати максимальну кількість одиниць бонусів, які називають «їжею». При поглинанні одного бонусу змійка збільшується на одну клітинку, що еквівалентно одному балу. Бонуси з'являються за кожним кроком збільшення «змійки» у іншій, випадковій, точці ігрового поля. Якщо ігрове поле має розміри 20x20, то найкращий результат складатиме 400 балів.

Нейронна мережа моделювалася, як повний орієнтований граф, у якому виділяються спеціальним чином впорядковані шари нейронів. Навчання нейронної мережі виконувалось методом зворотного поширення похибки.

При управлінні поведінкою «змійки» задача нейронної мережі полягає у виборі напрямку її руху: ліворуч, праворуч або рухатись прямо. Напрямки руху кодувалися значенням -1, 0 або 1. На перший шар нейронної мережі поступало 5 значень: наявність перешкоди праворуч, ліворуч, попереду (0 або 1); кут між поточним напрямком змійки та «їжею» і код запропонованого напрямку руху. Введемо параметр, який називатимемо «впевненістю» нейронної мережі у правильності обраного напрямку руху. За результатами обробки нейронною мережею початкових даних обирається максимальне значення «впевненості» і «змійка» робить крок у заданому таким чином напрямку.

Результатом дослідження є визначення залежності кількісних результатів гри від вибору наступних факторів: функції активації, кількості шарів нейронної мережі (від 1 до 8) та кількості нейронів у кожному шарі (від 1 до 64).

З отриманих результатів (Таблиця 1) випливає, що найкращою сукупністю факторів, яка дала найкращий результат гри, тобто дозволила набрати максимальну кількість 26,18 балів, виявилася наступна: функція активації – SoftSign, кількість шарів – 2, кількість нейронів у шарі – 19.

Порівняльні дані залежності результатів гри від структури нейронної мережі

Бали	Функція активації	Кількість шарів	Кількість нейронів у шарі
26.18	SoftSign	2	19
25.9	ELU	2	53
25.38	RELU	4	63
24.26	SELU	3	25
22.96	SoftPlus	3	38
21.43	TanH	2	24
22.3	Hard Sigmoid	2	20
19.68	SoftMax	2	54
19.44	Sigmoid	3	42

Перелік посилань

1. TensorFlow [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tensorflow.org/>
2. Нейронные сети, перцептрон [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Нейронные_сети,_перцептрон

МАТРИЧНІ ІНСТРУМЕНТИ МАРКЕТИНГУ В СИСТЕМІ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ

Стеблюк Н.Ф., Кучер В.В. (гр.МЕН-17-1д)

Дніпровський державний технічний університет

Сучасний розвиток банківської системи вимагає кардинальних змін у сфері обслуговування юридичних та фізичних осіб у напрямках розширення асортименту послуг банків відповідно до вимог інтеграції зі світовими банківськими системами. У теперішній час найбільш висвітленими є положення теорії конкурентоспроможності комерційного банку, маркетингу, специфіки банківського маркетингу та прогнозування потреб клієнтів. Проте більшість досліджень охоплюють загальну проблематику застосування маркетингових інструментів до діяльності фінансово-кредитних інститутів.

Динамічний розвиток ринку банківських послуг в Україні та загострення конкуренції на ньому змушують банки опанувати нові підходи до підвищення ефективності своєї діяльності, проводити пошук додаткових шляхів отримання конкурентних переваг, зокрема, шляхом впровадження інноваційних технологій обслуговування клієнтів, нових продуктів та послуг. Саме тому банки України відчувають гостру потребу у впровадженні нових концепцій банківського маркетингу, розробці маркетингової стратегії.

Розглянуто матричні інструменти маркетингу для формування стратегії комерційного банку, на прикладі АТ КБ «ПРИВАТБАНК»: PEST-аналіз, стратегічна матриця «товар-ринок» І.Ансоффа, матриця Бостонської консалтингової групи (БКГ), які свідчать, що значна увага приділяється вдосконаленню та розвитку ринку банківських послуг. Також банк постійно розширює свій продуктивний ряд, створює нові продукти. Це є дуже виправдано з боку банку, адже маючи широке коло різноманітних послуг, кожен з потенційних клієнтів може вибрати щось цікаве і корисне для себе. А це, в свою чергу, підвищить обсяги наданих послуг банком, його прибуток і рейтинг та забезпечить стійкість банківської установи в нестабільному зовнішньому середовищі. Основні пріоритети банку [1] на найближчу перспективу: подальше нарощування якісного кредитного портфелю, в якому, як і раніше, буде переважати роздрібний сегмент; підтримка оптимального та достатнього рівня ресурсної бази при подальшій політиці зниження вартості; трансформація внутрішніх бізнес-процесів, які дозволять підвищити ефективність бізнесу та якість обслуговування клієнтів; подальша оптимізація та приведення до належного стану регіональної мережі відділень та банківської інфраструктури; розробка та впровадження якісних та інноваційних продуктів, сервісів.

Література

1. Офіційний сайт АТ КБ «ПРИВАТБАНК». URL:<https://privatbank.ua/>

ПРО РІВНОМІРНІ РОЗТАШУВАННЯ РІЗНОКОЛЬОРОВИХ НАБОРІВ ТОЧОК НА КОЛІ

Андрушко Н.Є., учень 11 класу, **Дерець Є.В.**, науковий керівник
«Технічний ліцей імені Анатолія Лигуна» Кам'янської міської ради

У виконаному дослідженні розглядається узагальнення задачі рівномірного розміщення скінченного двокольорового набору точок на колі на випадок кольорів.

Доведено теорему, що описує всі можливі рівномірні розташування трикольорових наборів на колі та їх кількість. Оскільки задача рівномірного розташування на колі скінченного набору точок декількох кольорів може бути сформульована у термінах комбінаторики слів для періодичних слів над скінченим алфавітом, тим самим запропоновано власне доведення гіпотези Френкеля для періодичних слів над трибуквеним алфавітом засобами елементарної математики.

В роботі запропоновано власне означення різних видів рівномірності розташування скінчених наборів k – кольорових точок на колі, доведено теореми, які встановлюють зв'язок між ними, представлено приклади наборів з відповідними властивостями.

Для моделювання розташування трикольорових наборів точок на колі розроблено комп'ютерну програму, написану мовою C#, яка моделює рівномірне розміщення трьохкольорових наборів (якщо таке існує) та визначає кількість способів розташування (1 або 2 способи). Програма надає також візуалізацію знайдених розташувань. Виконано також аналітичну побудову розташування на колі трикольорового набору точок за допомогою кодування просторової прямої.

Результати виконаної роботи доповнюють наявні дослідження, які стосуються періодичних слів над скінченим алфавітом і можуть знайти певне використання у теоретичних та прикладних питаннях, пов'язаних із комбінаторикою слів. Задачі символічної динаміки знаходять застосування у теорії груп, дискретній математиці, генетичних дослідженнях, аналізі біологічних процесів та багатьох інших як теоретичних, так і прикладних областях.

Література

1. Концевич М. Л. Равномерные расположения. Квант. 1985. № 7. С. 51-52, 59.
2. Осипенко Г.С., Ампілова Н.Б. Лекции по символическому анализу динамических систем. Санкт-Петербург, 2004. 217 с.
3. Linstrom T. On the dynamics of discrete food chains: low- and high-frequency behavior and optimality of chaos. Journal of Mathematical Biology. 2002. № 45. P.396-418.

ВІДНОВЛЕННЯ НАБОРУ ЧИСЕЛ ЗА ЛІНІЙНИМИ КОМБІНАЦІЯМИ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

Писаревський З. М., учень 10 класу, Дерезь Є.В., науковий керівник

КЗ «Технічний ліцей імені Анатолія Лигуна» Кам'янської міської ради

У роботі розглядається подальше узагальнення задачі Мозера про відновлення набору чисел, а саме: досліджується можливість однозначного відновлення набору чисел за набором лінійних комбінацій усіх його впорядкованих підмультимножин сталої величини, де вектор, що визначає лінійну комбінацію, є фіксованим.

У процесі дослідження було отримано ряд аналітичних результатів: визначено й досліджено необхідні умови неоднозначного відновлення, при деяких обмеженнях було доведено можливість відновлення, побудовано конструктивні приклади неоднозначного відновлення набору чисел.

Створено програми для пошуку таких можливих неоднозначних відновлень, для доведення теорем методом перебору, для відновлення набору чисел за набором лінійних комбінацій усіх його впорядкованих двоелементних підмультимножин, доведення однозначності відновлення при певних обмеженнях, конструктивні приклади наборів чисел та коефіцієнтів, які породжують однакові набори лінійних комбінацій k -елементних підмультимножин.

Під час дослідження використано сучасне програмне забезпечення Dev-C# для виконання складних розрахунків, розв'язку часткових випадків теореми та пошуку прикладів неоднозначності відновлення.

Отримані результати можуть бути використані в теорії чисел та прикладних питаннях, пов'язаних із теоретико-числовими методами, які знаходять застосування в криптографії, інформатиці та обчислювальній математиці.

Література

1. Мозер Л. Problem E 1248. Amer. Math. Monthly. 1957. Вип. 64. С. 507
2. Селфрідж Дж. Штраус Е. On the determination of numbers by their sums of a fixed order. Pacific J. Math. 1958. Вип. 8. С. 847-856
3. Фомін Д. В. Определение набора чисел по набору его кратных сумм. Матем.просв. 2018. Сер. 3. Вип. 22. С. 179-206.

ШТУЧНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИТЕМИ У ВИРШЕННІ ЗАВДАНЬ РОЗПІЗНАВАННЯ

О.Д. Журавський, М.Я. Кісельов, В.О. Строева
Дніпровський державний технічний університет
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

У сучасному світі штучні інтелектуальні системи отримують все більшу популярність, завдяки багатьом можливостям та ефективності їх використання [1]. Існує безліч завдань, де необхідним постає використання інтелектуальних систем вже зараз: економіка і бізнес, транспорт, робототехніка, геологорозвідка, математика,

біофізика, авіоніка, безпека і охоронні системи, медицина і багато інших. Така велика кількість областей застосування, говорить про те, що інтелектуальні системи - це унікальний набір для дослідження питань аналізу і обробки великого обсягу даних, розв'язання задач різного рівня складності.

Основні завдання представленої роботи полягали у вивченні існуючих видів штучних інтелектуальних систем, методів їх функціонування, дослідженні основних видів інформаційних моделей штучних нейронних мереж та у реалізації алгоритмів розпізнавання зображень для інтелектуальної системи [2]. Актуальність роботи полягала у використанні нейронних мереж для вирішення погано формалізованих задач із застосуванням інтелектуального аналізу даних.

Природно, що зростання обсягів інформації, а також розширення кола технічно складних задач прийняття рішень вимагають систематизації існуючих методів та розробки нових методик і алгоритмів розв'язання для різного роду завдань. Зокрема, в роботі розглядається застосування нейронної мережі для дослідження задач розпізнавання. Важливим був вибір інформаційної моделі нейромережі для реалізації алгоритму розпізнавання зображень [3]. Нейронна мережа повинна бути оптимальною за внутрішньою структурою та способом управління інформаційними потоками між нейронами, а обрана інформаційна модель мала бути використана для вирішення різного виду практично важливих завдань досліджуваного напрямку.

У результаті проведеної роботи одержано результати, що дозволяють розпізнавати людей та автотранспорт на вхідних зображеннях. Ядром продукту є штучна нейронна мережа, яка з часом надає точніші результати, за рахунок своєї програмної архітектури. Програма проста у застосуванні, має зрозумілий та дружній інтерфейс, розпізнає об'єкти з точністю не менше 75%.

Список використаних джерел:

1. Глибовець М.М., Олецький О.В. Системи штучного інтелекту. - Київ: Вид-во «КМ Академія», 2002. 366 с.
2. Матвійчук А. Можливості та перспективи створення штучного інтелекту. Вісник НАН України, 2011. №12. С. 36-51.
3. Оптичне розпізнавання символів. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Оптичне_розпізнавання_символів.

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ – 2021”

ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ, КОМП’ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ІСТОРІЯ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ»

Гергель І.Ю., Лобода В.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Дисципліна «Історія прикладної математики» в першу чергу підвищує рівень ерудиції студентів і дає цілісний науковий світогляд про розвиток фізико-математичних наук, тому що історично математика була найважливішою в природознавчій науці та техніці. Цілеспрямована робота викладача полягає у формуванні та розвитку у студентів пошуково-дослідницької діяльності. При викладанні подібних дисциплін викладачу слід прагнути демонструвати взаємозв’язок і взаємообумовленість задач, які розв’язуються спеціалістами у різних областях фізико-математичних наук.

Вивчення історії науки передбачає ознайомлення зі збереженими оригінальними або перевиданими текстами. Викладач при виборі методів навчальної мотивації повинен спрямувати студентів на самостійне опанування наукових праць вчених, сформувавши у студентів уявлення про те, що відбувалося в історії точних наук, як навчалися пізнавати світ. Таким чином формується системний підхід до сприйняття розвитку будь-якої фізико-математичної наукової дисципліни.

Сучасна математика характеризується швидким зростанням об’єму просторових форм і кількісних відношень, що призвело до розширення сфери застосування математики. Виникло багато нових математичних теорій, які призвели до створення обчислювальних машин. Сьогодні з їх допомогою можливо розв’язання найскладніших задач у різних галузях практичної діяльності людини, обчислювальні машини стали потужним знаряддям досліджень глибоких закономірностей природи. Наприклад, в 2007 році суперкомп’ютер обчислював останній запис у таблиці для E_8 , яка описує симетрії деякого 57-мірного об’єкта. Упродовж більш 100 років математики намагалися зрозуміти цю величезну 248-мірну сутність. Це був важливий успіх у прогресі математичних знань та використанні великих суперкомп’ютерів для розв’язку глибоких математичних проблем графів групи E_8 .

Для продуктивного засвоєння знань студентами при викладанні дисципліни викладач може дотримуватися ділення на наступні періоди розвитку науки, як

- пранаука у стародавніх цивілізаціях, тому що у стародавніх цивілізаціях формуються витоки «науковості», яка відрізняється від інших форм пізнавальної діяльності;

- антична наука, коли зародилися ключові наукові поняття, мова науки, важливі наукові проблеми, нова наукова культура мислення;

- середньовічна наука, коли формувалася експериментальна наука;

- становлення класичної науки;

- класична наука (з кінця XVI ст. до середини XIX ст.). За цей порівняно невеликий проміжок часу у математиці склалися майже всі математичні теорії, які нині називають класичними основами сучасної вищої математики

- виникнення неklasичної науки після кризи класичної науки, яка призвела до значних наукових досягнень і, зокрема, до прискореного розвитку прикладної математики.

ЗАСТОСУВАННЯ ІКТ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ ВИКЛАДАННІ КУРСУ СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ

Стебляк П.О.

Університет митної справи та фінансів

Вишкіл майбутніх спеціалістів з кібербезпеки полягає в підготовці кваліфікованого компетентного фахівця, конкурентоспроможного на ринку праці, який вільно володіє професією та орієнтується в суміжних галузях діяльності, засвідчує готовність до постійного професійного зростання, соціальної й професійної мобільності. Суттєву роль у цьому процесі відіграє математика як універсальна міждисциплінарна мова для описання інженерних об'єктів і процесів та як універсальний інструмент професійної діяльності спеціаліста з кібербезпеки. Якісний математичний складник вищої інженерної освіти – необхідна умова формування професійної компетентності випускника університету, що повинен володіти математичними методами: моделювання, оптимізації, прогнозування. З огляду на вимоги сьогодення, а саме дистанційне навчання математики студентів технічних напрямів підготовки в умовах пандемії має вийти на новий якісний рівень.

У доповіді розроблено структуру навчально-методичного комплексу для поглибленого вивчення вищої та прикладної математики для майбутніх спеціалістів з кібербезпеки. Вона складається з навчальної програми зі спеціальних розділів математики для студентів технічних напрямів підготовки, предметної моделі студента університету із математики; методичного посібника «Індивідуальні домашні завдання по спеціальним розділам математики»; методичного посібника для самостійної роботи студентів «Тестові завдання по спеціальним розділам математики»; навчального посібника «Спеціальні розділи математики для спеціалістів з кібербезпеки».

Запропоновано система завдань, спрямована на послідовне опанування математичних навчальних дій за умови створення повної орієнтувальної основи діяльності й використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій при дистанційному навчанні.

**ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
162 “БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ”**

І.К. Карімов

Дніпровський державний технічний університет

Підготовка бакалаврів спеціальності 162 “Біотехнології та біоінженерія” в Дніпровському державному технічному університеті (ДДТУ) ведеться відповідно до освітньо-професійної програми (ОПП). Зокрема, ОПП передбачає вивчення обов'язкової дисципліни “Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач” та можливість посилення базової комп'ютерної підготовки шляхом вивчення вибіркової дисципліни “Інформаційні системи і технології”.

Обов'язкова дисципліна викладається в I семестрі, загальний обсяг дисципліни – 3 кредити (90 годин). Разом з іншими дисциплінами вона повинна забезпечити формування ряду компетентностей, серед яких слід виділити, перш за все, навички використання інформаційних та комунікаційних технологій та такі загальні компетентності, як здатність використовувати знання з математики та фізики в обсязі, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми; здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях тощо. Для формування вказаних компетентностей робочою програмою дисципліни передбачені оглядові лекції та 16 годин практичних занять. Враховуючи відведений бюджет часу та доступність програмного забезпечення прийнято рішення про орієнтацію практикуму на застосування табличного процесора MS Excel та системи комп'ютерної математики MathCad. Темі практичних робіт спрямовані на формування стійких навичок використання комп'ютерного інструментарію та ілюстрацію його можливостей шляхом розв'язування завдань, які можуть бути елементами реальних задач професійної діяльності. Прикладами можуть бути наступні роботи:

1. Побудова та опрацювання графіків в середовищі MathCad
2. Розв'язування рівнянь та систем рівнянь в середовищі MS Excel.
3. Розв'язування диференціальних рівнянь в середовищі MathCad .
4. Обробка експериментальних даних засобами MS Excel.

Вибіркова дисципліна “Інформаційні системи і технології” вивчається в третьому семестрі. Метою дисципліни є розширення та поглиблення знань про сучасні інформаційні системи, набуття практичних навичок використання інформаційних технологій для вирішення різноманітних завдань у практичній діяльності за фахом. Загальний обсяг дисципліни – 3 кредити (90 годин). в т.ч. 32 години практичних занять і 58 годин самостійної роботи (підготовка до занять, опрацювання окремих теоретичних розділів). Зокрема, майбутні бакалаври знайомляться з основними елементами, принципами розробки та використання інформаційних систем, їх класифікацією; вивчають інструментальні засоби створення баз даних та вирішення окремих задач моделювання. Прикладами практичних робіт можуть бути наступні роботи:

1. Технологія створення баз даних в середовищі MS Access.
2. Організація інформаційної бази оброблення інформації в середовищі MS Excel..
3. Інформаційні технології розв'язання задач лінійного програмування.
4. Побудова математичних моделей на основі емпіричних даних.

Для організації освітнього процесу з вказаних дисциплін розроблене відповідне методичне забезпечення, включаючи конспект лекцій, методичні вказівки до

практичних занять та самостійної роботи здобувачів освіти, тести та комплексні контрольні роботи для оцінювання якості підготовки. До кожної практичної роботи наводяться варіанти індивідуальних завдань. Передбачається, що процес виконання кожної роботи складається з таких основних етапів: домашня підготовка; робота в комп'ютерному класі; обговорення та захист роботи з демонстрацією документів, передбачених порядком її виконання.

ЩОДО ТРАДИЦІЙНИХ І НЕТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА ФОРМ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ БАКАЛАВРІВ

І.К. Карімов

Дніпровський державний технічний університет

Розвиток педагогічної науки в цілому і педагогічних технологій зокрема призвів до появи численних класифікацій методів та форм навчання у закладах вищої освіти. Різні дослідники в основу класифікації брали певну окрему сторону або ж завдання навчально-виховного процесу. В той же час більшість науковців перш за все поділяють методи навчання на традиційні і нетрадиційні. При цьому традиційними методами вважаються такі, в основі яких лежать класичні форми організації освітнього процесу (навчальні заняття, самостійна робота, практична підготовка, контрольні заходи) та такі види навчальних занять, як лекція; лабораторне, практичне, семінарське, індивідуальне заняття; консультація [1]. Всі відхилення від усталеного порядку, як правило, класифікуються як нетрадиційні методи. Більшість з них спрямована на активізацію та стимулювання пізнавальної діяльності здобувачів освіти, використання нових дидактичних та технічних засобів, зокрема, інформаційно-комунікаційних технологій або ж технологій дистанційної освіти. Особливої уваги заслуговує модифікація методів у зв'язку з впровадженням компетентнісного підходу в освіті.

С. А. Раков виділив 5 складових математичної компетентності: процедурну, логічну, технологічну, дослідницьку та методологічну [2]. При цьому процедурна компетентність передбачає вміння розв'язувати типові математичні задачі; логічна – володіння дедуктивним методом доведення та спростування тверджень; технологічна - володіння сучасними інформаційно-комунікаційними технологіями підтримки математичної діяльності; дослідницька - володіння методами дослідження практично зорієнтованих задач за допомогою ІКТ та математичних методів; методологічна - вміння оцінювати доцільність використання математичних методів і ІКТ для розв'язання практично зорієнтованих задач. Перші дві з вказаних компетентностей можуть бути безпосередньо сформовані шляхом вивчення класичних для технічного закладу освіти дисциплін “Вища математика” або “Вища та прикладна математика”.

Формування останніх трьох видів математичної компетентності потребує дещо специфічного підходу, в основі якого повинна бути професійна спрямованість і розгляд типових проблем за схемою задача – засоби – методи – прийоми. В зв'язку з цим їх можна об'єднати в єдину складову під назвою процесуально-діяльнісна компетенція. Провідну роль при формуванні цієї складової математичної компетенції можуть відігравати дисципліни типу “Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач” [3], які повинні викладатися попередньо або паралельно з вказаними вище дисциплінами.

Описаний підхід заслуговує на класифікацію як нетрадиційний метод (або форма) математичної підготовки майбутніх бакалаврів.

Література

1. Про вищу освіту: Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 8.04.2021).
2. Раков С.А. Математична освіта: компетентнісний підхід з використанням ІКТ: монографія. Харків: Факт, 2005. 360 с.
3. Карімов І. К. Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач : навч. посібник / І. К. Карімов. — Кам'янське: ДДТУ, 2017. — 283 с.

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРОБЛЕМИ НАВЧАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Худа Ж.В., Тонконог Є.А.

Дніпровський державний технічний університет

Нові технологічні процеси на виробництві вимагають забезпечення інженерними кадрами, які здатні вирішувати принципово нові завдання, які не характерні для старих виробництв. Роль кваліфікованого інженера, який вміє оперативно освоювати нові технології як ніколи висока. Специфіка інженерної освіти визначає вимоги до дисциплін математичного циклу в технічному університеті. Тому прогресивне рішення проблем вищої технічної освіти неможливо без модернізації математичної освіти студентів.

Актуальність реформування математичної освіти студентів визначається, зокрема, існуючими проблемами. По-перше, відбулася зміна парадигми професійної освіти, в якості провідної акцентується компетентнісна парадигма; по-друге, система вищої освіти стала двоступенева; по-третє, науково-технічний прогрес призвів до модернізації змісту спеціальних дисциплін; по-четверте, актуалізувався принцип безперервності освіти; по-п'яте, відбулося впровадження в навчальний процес інноваційних освітніх технологій, перш за все комп'ютерних. Але на тлі змін, що відбулися математичну освіту в технічних університетах системно ще не реформовано. Це означає, що зміни в математичній освіті студентів технічних університетів повинні йти в напрямку модернізації.

При всіх перевагах змісту математичної освіти в технічних університетах, його не можна визнати досконалим і адекватним для сучасного періоду. Зафіксований нормативно зміст навчання вищої математики вже не в повній мірі відповідає потребам спеціальних дисциплін і потребам реальної професійної діяльності майбутніх фахівців. Навчальні програми дисципліни «Вища та прикладна математика», фактично, уніфіковані для всіх спеціальностей технічного профілю. А між тим науково-технічний прогрес відокремив провідні професійні компетенції фахівців в різних областях. У зв'язку з цим зміст навчання математики має бути переглянуто відповідно до реальних потреб у навчанні фахових дисциплін і в майбутній професійній діяльності. Для цього необхідно посилити професійну і прикладну спрямованість навчання математики. При розробці навчальних програм математичних курсів слід враховувати зміни, що відбулися на технологічному рівні в нових галузях техніки.

Досягнення актуальної цілі модернізації математичної освіти в технічних університетах пов'язане з вирішенням ряду методичних проблем, серед яких варто

відзначити: розробку методики формування математичної освітньої компетентності студентів і математичної компетентності в складі професійної компетентності випускників технічних університетів, необхідність посилення професійної спрямованості змісту навчання математики, активізація діяльнісного підходу в технологіях навчання, формування відповідних ціннісних орієнтацій студентів, забезпечення в математичному змісті обґрунтованого балансу класичної фундаментальної частини і професійно актуальної спеціальної частини змісту математичної освіти.

Розвиток математичної освіти студентів технічних університетів повинен здійснюватися на основі певної системи принципів. В якості стратегічних принципів слід розглядати наступні:

- принцип контекстності (означає орієнтацію математичної освіти на професійний взаємозв'язок, на спільні цілі вищої технічної освіти, означає розгляд змісту математичної освіти як підсистеми змісту професійної освіти);

- принцип відкритості (означає, що математична освіта має бути варіативною, різнорівневою, що студент може отримати той рівень математичної освіти, в якому він зацікавлений);

- принцип безперервності (означає, що математична освіта в університеті на ступені бакалаврату є продовженням математичної освіти в школі або коледжі і саме є основою, яка дозволяє потім продовжувати освіту в магістратурі відповідно до особистісних потреб).

Оскільки в технічних вузах математична підготовка носить більш прикладний характер, це обумовлює необхідність зміни підходів і дає додаткові можливості. Досягти більш високого рівня компетентності випускників, підвищення їх інтересу до вивчення математики можна модернізацією змісту освіти з чисто теоретичного на практико-орієнтовний. Потрібно включати в зміст навчання професійно значущі знання, що показують зв'язок математичних положень і методів з майбутньою діяльністю інженерів, щоб з першого року навчання студент розумів необхідність знання математики для подальшої освіти і роботи. Потрібна глибша інтеграція математичних дисциплін з циклами спеціальних дисциплін, в яких застосовуються різні математичні методи. Найкращим, мабуть, виходом в даний час є широке використання методів моделювання процесів і явищ, в тому числі, і імітаційного. При цьому, основою є використання математичних моделей, реалізованих на комп'ютері, що дозволяє інтерактивно змінювати параметри досліджуваних явищ. Використання методів математичного моделювання призводить до необхідності більш глибокого вивчення відповідних розділів математики, а також основних принципів технологічних процесів, до засвоєння основних принципів явищ і їх особливостей. Даний підхід змінює структуру підготовки, він вимагає більш глибокого вивчення математичного моделювання, дає можливість ширше використовувати самостійну роботу студентів. При цьому знання студентів будуть більш глибокими і міцними. Дуже корисна буде постановка «наскрізних» завдань, які перебувають на стику різних дисциплін і вимагають знань з кількох областей науки. Потрібно, щоб навчання математиці не обмежувалося тільки першими курсами. Необхідно розширювати участь співробітників математичних кафедр в подальшому навчанні студентів, у тому числі в дипломному і магістерському проектуванні.

Оскільки значно зросли вимоги до сучасного інженера в області математичної освіти і особлива увага повинна приділятися побудові математичних моделей реальних виробничих завдань і методів їх вирішення, то доцільно було б збільшити кількість годин на реалізацію цих задач. Однак в останні роки в навчальних планах технічних університетів відбулося значне скорочення годин з вищої математики, а також сильно

знизився рівень підготовки з математики в середній школі. Природно, виникає питання: як досягти поставленої мети при сформованих умовах? Одним із способів є складання робочих програм з урахуванням потреб випускаючих і спеціальних інженерних кафедр. Якщо раніше програма з вищої математики складалася з набору класичних розділів, то зараз вона повинна бути орієнтована на конкретні спеціальності. Необхідно переглянути обсяг або навіть наявність деяких класичних тем на користь деяких спеціальних або специфічних розділів. Варто розширювати практику використання рейтингової системи та компетентнісного походу, слід ширше застосовувати нові освітні технології та постійно зростаючі можливості сучасних мультимедійних засобів.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА УЧБОВИХ ЗАНЯТТЯХ НА ПРИКЛАДІ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦІЙ

Сушко Л.Ф., Плохий Д.І.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

В умовах дистанційного навчання відеолекція є самостійною навчальною одиницею, що може розглядатися як програмна підтримка традиційної лекції у формі навчальних матеріалів, які надаються в електронному форматі і доступ до яких може мати студент в будь-який зручний для нього час для більш серйозного опрацювання матеріалу.

Беручи до уваги сутність діяльнісного підходу до навчання, конкретизуємо методичні рекомендації щодо використання відеоконференцій на лекціях, що поєднують різні види навчальної діяльності (і традиційно ustalених в вищих навчальних закладах): сприйняття студентами навчальної інформації, її обговорення, аналіз, формулювання висновків і суджень. Саме в такій формі лекції акценти зміщуються з пасивного сприйняття інформації на активні форми навчально-пізнавальної діяльності студентів.

З огляду на практичний досвід, виділимо наступні переваги відеолекцій:

- використання додаткових прийомів викладу навчального матеріалу (наочна демонстрація досліджуваних явищ, процесів; організація рольових ігор, створення навчальних професійно-орієнтованих ситуацій; спільний аналіз демонстраційних матеріалів та ін.);
- величезний потенціал використання наочних засобів навчання (відео, графіка, звуковий супровід, анімація і т.д.);
- можливість звернення до численних джерел інформації за допомогою структури гіперпосилань (до спеціалізованого програмного забезпечення, до інтернет-ресурсів);
- оперативність зворотного зв'язку.

При цьому необхідно враховувати характерні особливості відеолекції:

- наявність інформаційних навантажень на викладача, що виникають з необхідності оперативного відстеження реакції слухачів;
- необхідність врахування психолого-педагогічних умов, контингенту студентів для правильної організації навчального процесу;
- готовність до нелінійної побудови навчального заняття, варіативності методів навчання, методів передачі та обробки студентами навчальної інформації; розуміння можливого стомлення зорового аналізатора студентів при повністю автоматизованому навчанні.

Пристаючи до підготовки відеолекції, слід враховувати і такі дидактичні характеристики як функції, види та вимоги до відеолекції.

Освітня (пізнавальна) функція виражається в можливості забезпечити слухачів науковою інформацією, а також у формуванні знань і умінь щодо використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій для всіх видів діяльності з навчальною інформацією. Розвиваюча функція відеолекції реалізується в розвитку професійної компетентності, інформаційної культури, творчої розумової діяльності при безпосередньому контакті студентів з викладачем. Організуюча функція передбачає управління навчальною діяльністю, самостійною роботою студентів як під час заняття, так і в позааудиторний час. Розглянуті функції уточнюються та конкретизуються в залежності від виду відеолекції та її цільової спрямованості.

РОЗРОБКА WEB-ДОДАТКУ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

Безверхий О. І., Бугрик С.І.

Національний транспортний університет

Задача відображення розкладу розв'язується у багатьох галузях: при плануванні дискретного виробництва, організації пасажирських та товарних перевезень, проектуванні та проведенні навчальних занять у середній, професійно-технічній та вищій школі. При складанні розкладу занять поняття оптимальності втрачає сенс, оскільки відповідна задача є NP-повною.

Для автоматизації процесу відображення розкладу для вищого навчального закладу розроблено web-додаток з використанням сучасних фреймворків. В процесі розробки web-додатку вважаємо за необхідне враховувати такі технічні вимоги: функціональні та нефункціональні вимоги; вимоги до дизайну web-додатку; вимоги до фреймворку; юзабіліті (зручність використання) - властивості та інші технічні характеристики. Провівши детальний аналіз мов програмування та їх фреймворків було визначено, що система буде розроблюватись на мові PHP з використанням PHPStorm, створення web-додатку буде здійснюватись за допомогою фреймворку Yii2. Крім цього будемо використовувати технології, без яких сьогодні неможливо створити web-додаток, такі як: HTML, CSS, JavaScript. Всі ці технології дозволяють створити систему, яка буде працювати не менше, ніж зі 100 користувачами одночасно.

Для реалізації web-додатку було спроектовано і створено базу даних. Для цього було побудовано ER-модель бази даних та описано основні її сутності та атрибути. Сама база даних складається із 6 основних таблиць, у яких міститься інформація про кабінети (аудиторії), академічні групи, викладачі, курси, розклад та користувачі. Реалізовано готовий web-додаток.

МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МАТЕМАТИЧНА ЛОГІКА І ТЕОРІЯ АЛГОРИТМІВ»

Шевельова А.Є.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Відомо, що освітня роль математичних дисциплін полягає в тому, що вони активізують і розвивають інтелектуальні здібності людини, формують вміння проводити аналогії, здатність чітко та аргументовано формулювати і висловлювати свої судження, логічно обґрунтовувати власну точку зору, творчо застосовувати одержані знання.

Дисципліна «Математична логіка і теорія алгоритмів» викладається для студентів спеціальностей 113 «Прикладна математика» та 124 «Системний аналіз» два семестри і передбачає лекції, практичні заняття, самостійну роботу, виконання студентами індивідуальних робіт.

Мета і завдання дисципліни визначаються тією роллю, яку відіграє математична логіка в сучасних математиці та інформатиці. В першу чергу очевидно велике значення, яке має математична логіка в основах математики. Строга, математично точна побудова логічних числень, розв'язання проблеми дедукції, аксіоматичні системи і доведення теорем в їх рамках, прищеплюють студентам навички роботи з математичними об'єктами, математичну строгість мислення, абсолютно необхідну для дослідницької роботи в галузі математики та інформаційних технологій. У той же час швидкий розвиток обчислювальної техніки сприяє розширенню як кола задач, що розв'язуються за допомогою математичної логіки, так і методів, що застосовуються для їх розв'язання. Це в першу чергу відноситься до задач штучного інтелекту, розв'язання яких неможливе без залучення методів математичної логіки. Цим пояснюється вивчення методу резолюцій, який лежить в основі логічного програмування – відносно нового напрямку в програмуванні, за допомогою якого розв'язується більшість задач штучного інтелекту. Сказане повною мірою відноситься і до теорії алгоритмів, яка тісно пов'язана з математичною логікою.

Теорія алгоритмів виникла з внутрішньої потреби математики. Математична логіка, метаматематика, алгебра, геометрія і аналіз залишаються і сьогодні однією з основних областей застосування теорії алгоритмів. Теорія алгоритмів розглядає такі питання як формалізація поняття «алгоритм» та дослідження формальних алгоритмічних систем (частково рекурсивні функції, машини Тьюрінга, нормальні алгоритми Маркова, машини натуральнозначних реєстрів та ін.), теорія автоматів, формальне доведення алгоритмічної нерозв'язності ряду задач, класифікація задач, визначення і дослідження класів складності, асимптотичний аналіз складності алгоритмів, дослідження та аналіз рекурсивних алгоритмів, отримання явних функцій трудомісткості для порівняльного аналізу алгоритмів, розробка критеріїв порівняльного оцінювання якості алгоритмів. Для перевірки роботи та візуалізації формальних моделей алгоритмів зручно та корисно використовувати спеціальні програми – емулятори. У період дистанційного навчання їх застосування доцільно як на практичних заняттях, так і при розв'язанні індивідуальних завдань.

Завдяки методам теорії алгоритмів стає можливим раціональний вибір алгоритму (з відомої множини алгоритмів) розв'язання даної задачі з урахуванням особливостей застосування, отримання часових оцінок розв'язання складних задач; отримання вірогідних оцінок неможливості розв'язання деякої задачі за певний час, розробку та вдосконалення ефективних алгоритмів на основі практичного аналізу.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Волосова Н.М.

Дніпровський державний технічний університет

Процес навчання математичних дисциплін на даний час виступає тренінговою технологією у набутті життєво важливих та професійних компетентностей.

Тому для організації навчання згідно існуючим запитам методично правильно було б вивчення математичних дисциплін здійснювати за наступним планом: навчання дисципліни «Вища та прикладна математика» - на 1 курсі бакалаврату, навчання спеціальних математичних курсів професійного спрямування в залежності від спеціалізації – на 3 курсі підготовки бакалаврів, навчання математичного моделювання на 4 курсі підготовки бакалаврів і на 1 курсі магістратури.

Основою методичної системи навчання математики повинні виступати продуктивні методики, що передбачають осмислення студентами реальної життєвої ситуації. У роботі проаналізовано ефективні методи практичного навчання математичних дисциплін, що забезпечують прикладну і професійну спрямованість навчання.

Розроблено структуру вивчення тем та понять курсу, що складається з наступних складових:

- Постановка задач, що приводять до даного поняття.
- Виклад теоретичного матеріалу.
- Обговорення, аналіз, розгляд стандартних прикладів.
- Розгляд прикладних задач теми, застосування для розв'язання задач професійної спрямованості.

Наприклад, при розгляді теми «Системи лінійних алгебраїчних рівнянь» (СЛАР) спочатку розглядаються поняття визначника та матриці, які слугують інструментарієм для вивчення методів розв'язання систем лінійних рівнянь. Потім відпрацьовуються навички дослідження та розв'язання систем рівнянь. На наступному етапі отримані знання та навички застосовуються для розв'язання прикладних задач, пов'язаних з розчинами, їх насиченістю, концентрацією та математичним моделюванням даних процесів СЛАР.

В даних умовах змішаного навчання актуальності набувають сучасні хмарні технології, робота в Google- формах, Google- таблицях, в Google-таблицях, застосування сучасних пакетів символічної математики – MathCAD, MatLAB та інших середовищ візуального програмування. В дослідженні запропоновані інтерактивні методи навчання математики з їх застосуванням.

ЗМІСТ

МЕХАНІКА ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА, МЕХАНІКА РІДИНИ,
ГАЗУ ТА ПЛАЗМИ

1. Гудрамович В. С., Гарт Е. Л., Марченко О. А. ПІДКРІПЛЕННЯ ВИДОВЖЕНОГО ЕЛІПТИЧНОГО ОТВОРУ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ, ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ ПІД ДІЄЮ ВНУТРІШНЬОГО ТИСКУ	3
2. Круковський О.П., Дудник М.М., Веретенник В.М., Крицький В.Є. ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ ДЕБІТУ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ДЕГАЗАЦІЙНИХ ТРУБОПРОВОДАХ.....	6
3. Говоруха В. Б., Шевельова А. Є., Шуо Чжао ЧАСТКОВО ЕЛЕКТРОДОВАНА ТРИЩИНА МІЖ ДВОМА РІЗНИМИ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ КВАЗИКРИСТАЛІЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	7
4. Григоренко Я.М., Рожок Л.С. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АПРОКСИМАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДИСКРЕТНИМИ РЯДАМИ ФУР'Є ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕТОНКІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ІЗ ВМ'ЯТИНОЮ.....	8
5. Григоренко О.Я., Борисенко М.Ю., Бойчук О.В., Васильєва Л.Я. РОЗРАХУНОК ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ КВАДРАТНИХ ПЛАСТИН З УСІЧЕНИМИ КУТАМИ.....	9
6. Бабешко М.О., Савченко В.Г. НЕОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЗАЛЕЖНОСТІ НЕЛІНІЙНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ МІЖ ПЕРШИМИ ІНВАРІАНТАМИ ТЕНЗОРІВ І ДРУГИМИ ІНВАРІАНТАМИ ДЕВІАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ВІД ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ.....	10
7. Myronenko M. L., Beketov O. M. LIQUID FREE SURFACE BEHAVIOR IN CYLINDRICAL TANK UNDER HORIZONTAL HARMONIC LOADS.....	11
8. Усагова О.О. ВПЛИВ ПРУЖНОСТІ В ОЦІНКАХ ЧАСТОТ ОБОЛОНКИ, ЗАПОВНЕНИХ РІДИНОЮ.....	12
9. Бабешко М.О., Савченко В.Г. МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОСТОРОВИХ НЕОСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПЛАСТИЧНОСТІ ДЛЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ВРАХУВАННЯМ ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТА РОЗПУШЕННЯ МАТЕРІАЛУ.....	13
10. Кагадій Т.С., Щербина І.В., Шпорта А.Г. МЕТОД ЗБУРЕННЯ В ЗАДАЧАХ ПРО ПЕРЕДАЧУ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ПІДКРІПЛЮЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ДО ОРТОТРОПНОЇ МАТРИЦІ З УСКЛАДНЕНИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ.....	14
11. Багно О.М., Шурук Г.І. ПРО КВАЗІЛЕМБОВІ ХВИЛІ У СИСТЕМІ ШАР ІДЕАЛЬНОЇ РІДИНИ – СТИСЛИВИЙ ПРУЖНИЙ ШАР З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ.....	15
12. Пошивалов В. П., Данієв Ю. Ф. ПРО ОСНОВНІ ПІДХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ЕТАПІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	16

13. Скосаренко Ю.В. ДИНАМІКА ШАРУВАТИХ ПІДКРІПЛЕНИХ ОБОЛОНОК	17
14. Безверхий О.І., Григор'єва Л.О. ПІДХІД У ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗАДАЧ ОСЕ-СИМЕТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ТІЛ.....	18
15. Галишин А.З., Склепус С.Н. ПОЛЗУЧЕСТЬ ОБОЛОЧЕК ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	19
16. Григор'єва Л.О. УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ НЕСТАЦІОНАРНИХ КОЛИВАНЬ БАГАТОШАРОВИХ П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ..	20
17. Левківський Д.В. УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ПРЯМИХ В ЗАДАЧАХ ТЕРМОПРУЖНОСТІ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ТІЛ.....	21
18. Янсонс М. О. ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО МЕТОДУ ПРЯМИХ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КІЛЬЦЕВИХ НЕТОНКИХ ПЛАСТИН.....	22
19. Тормахов Н.Н. НАПРЯЖЕННЯ В ЕКСПЕРИМЕНТАХ С ТРУБЧАТЫМИ ОБРАЗЦАМИ	25
20. Угрімов С.В., Кобильнік В.А. МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОШАРОВИХ КОМПЗИТНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ІЗ ОРТОТРОПНИМИ ШАРАМИ ТА НАНОАРМУВАННЯМ.....	26
21. Козлов В.І. , Зінчук Л.П. ПАРАМЕТРИЧНІ КОЛИВАННЯ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	27
22. Гарт Е.Л., Рибалко Я.В. ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО КРУГОВОГО ОТВОРУ В ПЛАСТИНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ОТОЧУЮЧИХ ЙОГО ЕЛІПТИЧНИХ ВКЛЮЧЕНЬ.....	28
23. Бабич С.Ю., Глухов Ю. П. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ШАРУВАТІЙ ОСНОВІ З ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	30
24. Онопriienko O. THE DEFORMATION OF THE INTERFACE CRACK IN PIEZOELECTRIC BI- MATERIAL WITH ACCOUNT OF MAXWELL FORCES.....	31
25. Сметанкіна Н.В., Меркулова А.І., Меркулов Д.О., Постний О.В. МЕТОД РОЗРАХУНКУ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК СКЛАДНОЇ ФОРМИ З ПЛІВКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА.....	32
26. Сметанкіна Н.В., Меркулова А.І., Меркулов Д.О. РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКІВ ПРИ УДАРІ ПТАХА.....	33
27. Гарт Е.Л., Терьохін Б.І. ВПЛИВ ВКЛЮЧЕННЯ ІЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНОГО МАТЕРІАЛУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ОДНОРІДНОЇ ПЛАСТИНИ З КРУГОВИМ ОТВОРОМ.....	34

28. Григоренко О.Я. , Борисенко М.Ю., Бойчук О.В., Васильєва Л.Я.	37
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ І ФОРМ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ШЕСТИКУТНОЇ ПЛАСТИНИ З ВІЛЬНИМИ КРАЯМИ.....	
29. Шевельова Н.В., Ходанен Т.В.	
ЗЧЕПЛЕНИЙ ТА ГЛАДКИЙ ШТАМПИ НА ГРАНИЦІ ПРУЖНОЇ ІЗОТРОПНОЇ ПІВПЛОЩИНИ.....	38
30. Глухов А. Ю.	
ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРА ШАРУВАТОСТІ НА ФАЗОВУ ШВИДКІСТЬ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ХВИЛЬ В КОМПОЗИТНОМУ МАТЕРІАЛІ	39
31. Григоренко О. Я., Пархоменко О. Ю., Васильєва Л. Я.	
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СПЛАЙН-АПРОКСИМАЦІЇ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ ПРО ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ШАРУВАТИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОНОК З РІЗНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ОРТОТРОПІЇ В УТОЧНЕНІЙ ПОСТАНОВЦІ.....	40
32. Білий Д.В., Комаров О.В., Лобода В.В.	
ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ СКЛАДЕНОГО ОДНОМІРНОГО П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО КВАЗІКРИСТАЛА З МІЖФАЗНОЮ ТРІЩИНОЮ.....	41
33. Левченко М.С., Лобода В.В.	
ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТРІЩИНИ МІЖ ДВОМА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	42
34. Міхаїл О.В., Лобода В.В.	
ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЙНУВАННЯ ДЛЯ ТРІЩИН НА МЕЖІ ПОДІЛУ МАТЕРІАЛІВ.....	43
35. Panin K.	
NUMERICAL SOLUTION OF ELASTIC-PLASTIC CONTACT PROBLEM.....	44
36. Крилова Т.В., Крилова М.В.	
ВЛАСНІ ЗНАЧЕННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ.....	45
37. Стеблянко П.О., Демичев К.Е., Петров О.Д.	
ПОВЕДІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНО НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗНАЧНИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЯХ.....	51

**КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В
МАШИНОБУДУВАННІ, МЕТАЛУРГІЇ ТА БУДІВНИЦТВІ.
ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА**

38. Гачкевич О.Р. , Гуменчук О.Б. , Можаровський В.В., Терлецький Р.Б.	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ТЕЛАХ НИЗКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	56
39. Гачкевич А.Р. , Козакевич Т.В. , Кукареко В.А. , Волчаньски Т.	
ЗНАЧЕННЯ УДЕЛЬНИХ ОБЪЕМОВ ФАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ СТРУКТУРНОГО И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ.....	57
40. Hachkevych O.R., Ivas'ko R.A., Kuznir R.M., Stanik-Besler A.	
VARIANT OF MATHEMATICAL MODEL OF THERMOMECHANICS FOR QUANTITATIVE DISCRPTION OF THERMAL AND MACHANICAL PROPARTIES IN ELECTROMAGNETIC NONPOLARIZABLE, MAGNETIZABLE BODIES.....	59

41. Круковський О.П., Ларіонов Г.І. ПРО ВИКОРИСТАННЯ ОДНОГО МЕТОДУ АПРОКСИМАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЇХ ЧУТЛИВОСТІ В ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧАХ.....	61
42. Кирия Р.В., Новиков Л.А., Мостовой Б.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЛЕНТЫ ПО РОЛИКООПОРАМ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА.....	62
43. Круковська В.В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ВОДИ НА ГАЗОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТАХ.....	63
44. Krukovskiy O.P., Krukovska V.V. ANALYSIS OF GEOMECHANICAL PROCESSES DURING LONG-TERM GAS-FIELDS DEVELOPMENT.....	64
45. Виноградов Ю.О. ЗАСТОСУВАННЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВОДОПРИПЛИВУ В ГІРНИЧІ ВИРОБКИ ПІД ЧАС ПЕРЕТИНУ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ.....	64
46. Поліщук А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ У МАСИВІ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЧЕРЕЗ СВЕРДЛОВИНУ.....	65
47. Гупало Ю.Ю., Бельмас И.В. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ ВАНТ.....	66
48. Дзюба П.А. ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ДИАМЕТРА РЕГУЛЯРНО РАСПОЛОЖЕННЫХ В СРЕДНЕМ СЕЧЕНИИ КРУГОВЫХ ОТВЕРСТИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОДОЛЬНОСЖАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК.....	68
49. Нужна С. А. ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИБУТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	69
50. Багрій В.В., Трикіло А.І., Давидчик О.М., Волошин Р.В. МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ.....	71
51. Волосова Н.М., Кучугурний Д.А. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ВЕДЕНОГО ШКІВУ ПЛОСКО-ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ.....	74
52. Шматко Д.З., Авер'янов В.С. МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	75
53. Сасов О.О. АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРИ ВІД ЧАСУ РУХУ ПРИ ФІКСОВАНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ В РІЗНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЗОНАХ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН.....	76

**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В
СОЦІАЛЬНІЙ СФЕРІ, ЕКОНОМІЦІ.
МОДЕЛІ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ КІБЕРБЕЗПЕКОЮ**

54. Katkova T., Bryla K. MODERN METHODS OF INFORMATION PROTECTION.....	77
--	----

55. Stelyuk B.B., Kostenko V.V., Semenenko O.A. MODERN TECHNOLOGIES OF WIRELESS ACCESS IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS.....	77
56. Stelyuk B.B., Ulyanovska Yu.V., Brila K.S. APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN IT-PROJECT MANAGEMENT.....	78
57. Katkova T., Filipov M. IMPROVING THE SYSTEM OF INFORMATION TRANSMISSION AND PROTECTION AT THE TECHNICAL ENTERPRISE.....	78
58. Klym V., Bryla K. DEVELOPMENT OF PROJECTS BY WEB TECHNOLOGIES: CURRENT TRENDS.....	78
59. Олійник Л.О., Бажан С.М. ПРО ВИКОРИСТАННЯ МНОЖИНИ КАНТОРА В ОПЕРАЦІЇ МУТАЦІЇ ДЛЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ.....	79
60. Katkova T., Khilko M. DEVELOPMENT OF THE INFORMATION PROTECTION SYSTEM AT THE ENTERPRISE.....	81
61. Katkova T., Vityugova A. PROVISION OF INFORMATION SECURITY AND ORGANIZATION OF PROTECTION OF PERSONAL DATA IN SOCIAL NETWORKS.....	81
62. Житкевич Н.Ю., Горбачев В.О., С'янов О.М., Косухіна О.С. ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ІНДУКЦІЙНИМИ РЕОСТАТАМИ.....	82
63. Mormul M.F., Shchytov D.M., Kurbats'ka E.S. MULTICRITERIAL EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF WORK SYSTEM ...	83
64. Katkova T.I, Gaidarzhisky V.M. DIRECTIONS OF STATE POLICY AND PROVISION OF INFORMATION SECURITY IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY.....	83
65. Mormul M.F., Shchytov D.M., Slishik T.O. THE TASK OF THE COMER IN SCALAR AND VECTOR PRODUCTIONS AND ITS SOLVING.....	83
66. Mormul M.F., Shchytov D.M., Kucher A.S. MODELS AND METHODS OF SOLVING THE PROBLEM PURPOSE IN DIFFERENT STATIONS.....	83
67. Стеблюк Н. Ф., Новак В. В. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ МАРКЕТИНГУ.....	84
68. Олійник Л.О., Зюзь О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ КОМП'ЮТЕРНОЮ ГРОЮ «ЗМІЙКА».....	86
69. Стеблюк Н.Ф., Кучер В.В. МАТРИЧНІ ІНСТРУМЕНТИ МАРКЕТИНГУ В СИСТЕМІ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ.....	87
70. Андрушко Н.Є., Деречь Є.В. ПРО РІВНОМІРНІ РОЗТАШУВАННЯ РІЗНОКОЛЬОРОВИХ НАБОРІВ ТОЧОК НА КОЛІ.....	88
71. Писаревський З. М., Деречь Є.В. ВІДНОВЛЕННЯ НАБОРУ ЧИСЕЛ ЗА ЛІНІЙНИМИ КОМБІНАЦІЯМИ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ.....	89

72. Журавський О.Д., Кісельов М.Я., Стрєва В.О. ШТУЧНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИТЕМИ У ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ РОЗПІЗНАВАННЯ	89
---	----

**ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ,
КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ**

73. Гергель І.Ю., Лобода В.В. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ІСТОРІЯ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ».....	91
74. Стеблянюк П.О. ЗАСТОСУВАННЯ ІКТ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ ВИКЛАДАННІ КУРСУ <i>СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ</i>	92
75. Карімов І.К. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 162 “БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ”	93
76. Карімов І.К. ЩОДО ТРАДИЦІЙНИХ І НЕТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ТА ФОРМ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ БАКАЛАВРІВ	94
77. Худа Ж.В., Тонконог Є.А. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРОБЛЕМИ НАВЧАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	95
78. Сушко Л.Ф., Плохий Д.І. ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА УЧБОВИХ ЗАНЯТТЯХ НА ПРИКЛАДІ ВІДЕОКОНФЕРЕНЦІЙ.....	97
79. Безверхий О. І., Бугрик С.І. РОЗРОБКА WEB-ДОДАТКУ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ	98
80. Шевельова А.Є. МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МАТЕМАТИЧНА ЛОГІКА І ТЕОРІЯ АЛГОРИТМІВ».....	99
81. Волосова Н.М. МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	100

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЗЧИК

А		Д	
Авер'янов В.С.	75	Давидчик О.М.	71
Андрушко Н.Є.	88	Данієв Ю. Ф.	16
Б		Демічев К.Е.	51
Бабешко М.О.	10, 13	Дерець Є.В.	88, 89
Бабіч С.Ю.	30	Дзюба П.А.	68
Багно О.М.	15	Дудник М.М.	6
Багрій В.В.	71	Ж	
Бажан С.М.	79	Житкевич Н.Ю.	82
Безверхий О.І.	18, 98	Журавський О.Д.	89
Бекетов О.М.	11	З	
Бельмас І.В.	66	Зінчук Л.П.	27
Білий Д.В.	41	Зюзь О.В.	86
Бойчук О.В.	9, 37	І	
Борисенко М.Ю.	9, 37	Івасько Р.А.	59
Брила К.	77, 78	К	
Бугрик С.І.	98	Кагадій Т.С.	14
В		Карімов І.К.	93, 94
Васильєва Л.Я.	9, 37, 40	Каткова Т.	77, 78, 81, 83
Веретенник В.М.	6	Кісельов М.Я.	89
Виноградов Ю.О.	64	Кирия Р.В.	62
Вітюгова А.	81	Клим В.	78
Волосова Н.М.	74, 100	Кобильнік В.А.	26
Волошин Р.В.	71	Козакевич Т.В.	57
Волчанські Т.В.	57	Козлов В.І.	27
Г		Комаров О.В.	41
Галишин А.З.	19	Костенко В.В.	77
Гарт Е.Л.	3, 28, 34	Косухіна О.С.	82
Гачкевич О.Р.	56, 57, 59	Крилова М.В.	45
Гергель І.Ю.	91	Крилова Т.В.	45
Глухов А.Ю.	39	Крицький В.Є.	6
Глухов Ю.П.	30	Круковська В.В.	63, 64
Говоруха В. Б.	7	Круковський О.П.	6, 61, 64
Горбачев В.О.	82	Кукареко В.А.	57
Григор'єва Л.О.	18, 20	Кучер А.С.	83
Григоренко Я.М.	8	Кучер В.В.	87
Григоренко О.Я.	9, 37, 40	Кучугурний Д.А.	74
Гудрамович В.С.	3	Кушнір Р.М.	59
Гуменчук О.Б.	56	Л	
Гупало Ю.Ю.	66	Ларіонов Г.І.	61

Левківський Д.В.	21	Станік-Беслер А.	59
Левченко М.С.	42	Стеблюк Н.Ф.	84, 87
Лобода В.В.	41, 42, 43, 91	Стелюк Б.Б.	77, 78
М		Стеблянко П.О.	51, 92
Марченко О.А.	3	Строева В.О.	89
Меркулов Д.О.	32, 33	Сушко Л.Ф.	97
Меркулова А.І.	32, 33	С'янов О.М.	82
Мироненко М.Л.	11	Т	
Міхаїл О.В.	43	Терлецький Р.Б.	56
Можаровський В.В.	56	Терьохін Б.І.	34
Мормул М.Ф.	83	Тонконог Є.А.	95
Мостовой Б.А.	62	Тормахов Н.Н.	25
Н		Трикіло А.І.	71
Новак В.В.	84	У	
Новиков Л.А.	62	Угрімов С.В.	26
Нужна С.А.	69	Улановська Ю.В.	78
О		Усатова О.О.	12
Олійник Л.О.	79, 86	Ф	
Онопрієнко О.	31	Філіпов М.	78
П		Х	
Панін К.	44	Хілько М.	81
Пархоменко А.Ю.	40	Ходанен Т.В.	38
Петров О.Д.	51	Худа Ж.В.	95
Писаревський З. М.	89	Ш	
Плохий Д.І.	97	Шевельова А.Є.	7, 99
Поліщук А.В.	65	Шевельова Н.В.	38
Постний О.В.	32	Шуо Чжао	7
Пошивалов В. П.	16	Шматко Д.З.	75
Р		Шпорта А.Г.	14
Рибалко Я.В.	28	Щ	
Рожок Л.С.	8	Щербина І.В.	14
С		Щитов Д.М.	83
Сасов О.О.	76	Щурук Г.І.	15
Савченко В.Г.	10, 13	Я	
Семененко О.А.	77	Янсонс М.О.	22
Склепус С.Н.	19		
Скосаренко Ю.В.	17		
Сметанкіна Н.В.	32, 33		

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ –
2021**

ЧАСТИНА 1

Редактор і коректор к.т.н., доц. Волосова Н.М.

