

**INTERNATIONAL CONFERENCE
Mathematical Problems of Technical Mechanics and
Applied Mathematics - 2019**

***ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE
MPTMAM 2019***

**April 15-18, 2019
Dnipro, Kamianske, Ukraine**

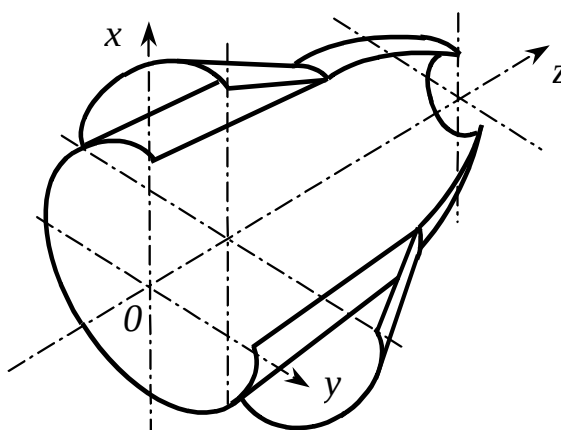
Book of Abstracts

**МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА
ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ – 2019**

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



Матеріали конференції



Дніпро, Кам'янське – 2019

МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ – 2019

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Стеблянюк П.О.

Співголова: Крилова Т.В.

Учений секретар: Волосова Н.М.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Бабешко М.Є., Баженов В.А., Богданов В.Л., Булат А.Ф., Гачкевич О.Р., Григоренко О.Я., Гудрамович В.С., Дзюба А.П., Карнаухов В.Г., Кирия Р.В., Галишин О.З., Кісельова О.М., Кушнір Р.М., Ларіонов Г.І., Лобода В.В., Луговой П.З., Мейш В.Ф., Назаренко В.М., Пилипенко О.В., Полищук С.З., Поляков М.В., Пошивалов В.П., Савченко В.Г., Самохвалов С.Є., Середа Б.П., Тарасенкова Н.А., Тимошенко В.І., Черняков Ю.А., Шумейко О.О.

Матеріали конференції

Редактор і коректор

к.т.н., доц. Волосова Н.М., Гусар І.В.

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 (2001-2018 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.

В таблиці наведена більш докладна інформація за 2001-2019 роки.

Рік	Кількість доповідей
2001	112
2002	124
2003	137
2004	130
2005	129
2006	149
2007	154
2008	135
2009	160
2010	210
2011	241
2012	172
2013	151
2014	164
2015	152
2016	134
2017	103
2018	75
2019	114
Сума	2746

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, голова оргкомітету конференції професор Стеблянко П.О.

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ – 2019”

МЕХАНІКА ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА, МЕХАНІКА РІДИНИ, ГАЗУ ТА ПЛАЗМИ. МЕТОДИ ОБЧИСЛЕНЬ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ. АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

РОЗРАХУНОК ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ТІЛАХ ОБЕРТАННЯ З ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕПЛОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

О.Р. Гачкевич, Є.М. Ірза, А. Козярська

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача
НАН України;*

Інститут математики та фізики Політехніки Опольської (Польща)

В останні роки пройшли великі зміни в нанотехнологіях. Завдяки нанотехнологіям отримано матеріали з фізико-механічними характеристиками, які неперервно залежать від просторової координати і температури. Такі матеріали дістали назву: «функціонально-градієнтні матеріали».

Конструкції з функціонально-градієнтних матеріалів досить часто піддаються певним тепловим процесам, які пов'язані з їх нагрівом і подальшим охолодженням. В результаті дії температурних полів в них виникають температурні напруження, які можуть перевищувати допустимі значення і приводити до руйнування чи короблення конструкцій.

Питанню розрахунку термонапруженого стану в тілах обертання з функціонально-градієнтних матеріалів при тепловому навантаженні присвячені численні публікації, зокрема [1].

У переважній більшості прикладних робіт форма тіла обертання як правило канонічна. В порівнянні з існуючими в літературі дослідженнями в цьому напрямі, в роботі запропоновано методика визначення термонапруженого стану тіл обертання з функціонально-градієнтних матеріалів, форма яких відмінна від канонічної. Теплофізичні характеристики тіла розглядаються залежними від просторової координати і температури.

Запропонована методика розрахунку термонапруженого стану в тілах обертання з функціонально-градієнтних матеріалів при тепловому навантаженні передбачає:

- математичну постановку задачі;
- розробку числового алгоритму пошуку розв'язку;
- програмну реалізацію числового алгоритму.

Використано класичну постановку задач по розрахунку термонапруженого стану в тілах обертання з функціонально-градієнтних матеріалів при тепловому навантаженні. Спочатку вибираються параметри стану. Для розглядуваних процесів термообробки тіл з функціонально-градієнтних матеріалів типовими параметрами, які визначають термонапружений стан конструкції є наступні параметри: t – температура; $\hat{\sigma}$ – тензор напружень; $\hat{\varepsilon}$ – тензор деформацій; $\vec{u}$ – вектор переміщень; $\vec{p}$ – вектор функція силового навантаження; $h(\tau)$ – функція теплового навантаження і т.п..

Наступним етапом є запис системи рівнянь, що пов'язують ці параметри з фізичними і геометричними параметрами тіла, і зовнішніми діями, які приймаються у вигляді

$$L_i(\vec{r}, \tau, t, \hat{\sigma}, \hat{\varepsilon}, \vec{p}, \vec{u}, h) = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

Тут $\vec{r}$ – незалежна змінна, $\vec{r} \in \Omega$, де Ω область яку займає тіло ($\vec{r} = [x^1, x^2, x^3]$ – радіус-вектор точки в криволінійній системі координат $Ox^1x^2x^3$); τ – біжучий час; L_i – диференціально-інтегральні оператори по просторових координатах x^i і часу τ .

Система рівнянь (1) в загальному випадку може бути системою нелінійних диференціально-інтегральних рівнянь. Приймається, що початкові і крайові умови включені в систему (1).

Система рівнянь (1) при заданих теплових навантаженнях $h(\tau)$, зовнішній силі $\vec{p}$ і параметрах конструкції повинна бути замкненою і визначати параметри стану, які характеризують термонапружений стан тіла.

Оскільки вихідна система диференціально-інтегральних рівнянь є нелінійною і геометрична конфігурація області, яку займає тіло, часто є досить складною, виникає необхідність використання універсальних числових методів для розв'язування даного класу задач. Одним з таких методів є метод зважених залишків в поєднанні з кінцево-елементним підходом [2].

В розглядуваному підході алгоритм розв'язання даних задач таким методом включає:

- дискретизацію області кінцевими елементами;
- апроксимацію невідомих функцій на елементі розбиття;
- отримання на цій основі системи алгебраїчних рівнянь відносно значень невідомих функцій у вузлах і алгоритм розв'язку цієї системи.

Застосування методу зважених залишків в поєднанні з методом кінцевих елементів до рівняння (1) приводить до системи алгебраїчних рівнянь для невідомих $\{U\}$ значень функції у вузлах розбиття. Отриману систему можна записати як

$$[K]\{U\} = \{F\}. \quad (2)$$

Тут: $[K]$ – глобальна матриця жорсткості; $\{F\}$ – вектор навантаження, які мають конкретний вигляд в залежності від порядку диференціально-інтегрального оператора L (при цьому крайові умови враховані в отриманій системі). В загальному випадку система алгебраїчних рівнянь (2) є нелінійною і може бути розв'язана за допомогою відповідного ітераційного методу.

Програмна реалізація алгоритму розрахунку термонапруженого стану полягає у створенні програмної оболонки для персональних комп'ютерів на основі

запропонованого числового алгоритму.

Як приклад розв'язано задачу знаходження термонапруженого стану у порожнистому циліндрі, виготовленого з функціонально-градієнтного матеріалу, який перебуває під дією теплового навантаження. Проведений числовий аналіз отриманих розв'язків.

Запропонований алгоритм розв'язування даного класу задач може бути використаний на виробництві для дослідження рівня деформацій і напружень в елементах конструкцій, виготовлених з сучасних матеріалів, які піддаються температурному навантаженню, а також для порівняння з розрахунками отриманими по інших методиках.

Література

1. С.М. Айзикович, В.М. Александров, А.С. Васильев, Л.И.Кренин, И.С. Трубочник Аналитическое решение смешанных осесимметричных задач для функционально-градиентных сред. – Москва. «Физматлит», 2011. – 192с.
2. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. Finite Element Method: Vol 1. The Basis. – London: “Butterworth Heinemann”, 2000. - 689p.

МОДЕЛЬ ТЕРМО-ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ З ЗУБОМ ПЛИННОСТІ

О. Петров¹, Ю.Черняков¹, П.Стеблянко²

¹Дніпровський національний університет імені О. Гончара

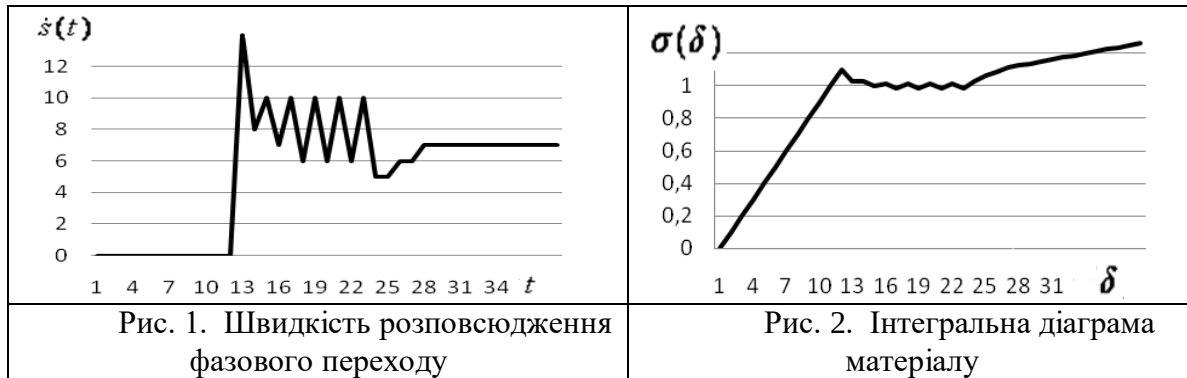
²Дніпровський державний технічний університет

Існує цілий ряд моделей для опису термомеханічного поведінки сплавів з пам'яттю форми. Більшість з них будуються на підставі класичних уявлень, тобто безпосередньо описуються експериментальні дані, отримані на різних макрозразках при простому і складному навантаженні. Однак, як встановлено в експериментальних дослідженнях поведінка матеріалу в точці тіла в загальному випадку відрізняється від поведінки зразка в цілому. У запропонованій доповіді формулюється феноменологічна модель для опису властивостей таких матеріалів саме в точці. Деформація в точці представляється у вигляді суми пружною складової; стрибка деформації при можливому фазовому переході; пластичної деформації, яка підпорядковується теорії течії з кінематичним і трансляційним зміцненням; деформації, викликаній температурними змінами. При цьому передбачається, що властивості матеріалу залежать від температури. Для опису пружної деформації і деформації фазового перетворення використовувалася діаграма пружного матеріалу, що складається з трьох ділянок [1, 2].

Таке трактування призводить до нестійкої діаграми напруження-деформація і для опису термомеханічного поведінки зразків різної форми вимагає рішення граничної задачі з урахуванням розвитку фронту деформації перетворення. У цих задачах враховується не тільки температура навколишнього середовища, але і тепло, яке виділяється в зразку при фазовому переході. Таке трактування дозволило з позиції досить простої моделі матеріалу описати цілий ряд експериментальних даних на різних зразках при різних умовах навантаження, включаючи циклічне температурне і силовий

вплив. Встановлено конкретні залежності для механічних параметрів. Встановлено, що класичні діаграми матеріалів представляють собою криву, що огинає сімейство діаграм матеріалу, яке побудовано для певних законів зміни швидкості фронту розриву деформацій.

На рис.1. показана типова залежність для швидкості розповсюдження фазового переходу від часу. На першій ділянці швидкість дорівнює нулю, а на третій досягає постійного значення. Між ними міститься ділянка зі змінною швидкістю.



В результаті обчислення дотичного модуля на кожному кроці інтегрування за часом будується інтегральна діаграма матеріалу (Рис.2). Перша ділянка відповідає пружній поведінці матеріалу. Третя характеризує зміцнення матеріалу. Між ними міститься ділянка, яка нагадує поведінку ідеально пластичного матеріалу після зуба плинності.

Таке трактування дозволило з позиції досить простої моделі матеріалу описати ряд експериментальних даних на різних зразках при різних умовах навантаження. Встановлено, що класичні діаграми матеріалів представляють собою криву, що огинає деяке сімейство діаграм матеріалу, побудоване для певних законів зміни швидкості фронту розриву деформацій.

Література

1. Abeyaratne R., Knowles J.K. Evolution of phase transitions. – Cambridge University Press, 2006. – 258 p.
2. Petrov A., Chernyakov Yu., Steblyanko P., Demichev K., Haydurov V. Development of the method with enhanced accuracy for solving problems from the theory of thermo-pseudoelastic-plasticity // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4/7 (94). P. 25–33.

РІВНОВАГА НЕТОНКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕРІЗОМ У ВИГЛЯДІ З'ЄДНАНИХ НАПІВГОФРІВ

Я.М. Григоренко¹, Л.С. Рожок²

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

² Національний транспортний університет МОН України

Дослідження просторових задач теорії пружності мають давню історію та відзначаються значною кількістю різноманітних підходів, аналітичних та чисельних методів розв'язування поставлених крайових задач. Необхідність створення

конструкцій з підвищеними вимогами до їх міцності й довговічності з використанням мінімальної кількості матеріалів та з найменшими витратами на їх виготовлення і експлуатацію висуває на перший план проблему оптимального проектування. Саме на етапі проектування конструкцій велику роль відіграють чисельно-аналітичні методи теорії оболонок, оскільки вони дозволяють найбільш просто виявити вплив тих чи інших параметрів та підказати шляхи покращення самої конструкції стосовно підвищення характеристик її міцності.

З метою покращення характеристик міцності матеріалу конструкцій при їх експлуатації в складних умовах і здатності матеріалу чинити опір утворенню деформації, широкого застосування набули конструкції з гофрованими елементами. Знання напружено-деформованого стану дозволяє обирати раціональну форму гофрів при конструюванні та виготовленні елементів конструкцій подібного класу. В деяких роботах хвилеподібний характер поперечного перерізу описується частиною сфери чи синусоїди, або дугами кіл, сполучення яких виконано таким чином, що кут нахилу дотичної до кривої змінюється без стрибків. При побудові методики, що дає змогу отримати розв'язок з достатнім ступенем точності, поперечний переріз поверхні відліку має бути заданий неперервною кривою без особливостей та розривів, рівняння якої допускають неперервні похідні. Такою кривою є скорочена епіциклоїда (скорочена гіпоциклоїда) [1], що складається з безперервно з'єднаних напівгофрів. Варіюючи параметрами цієї кривої можна змінювати як кількість напівгофрів, так і їх амплітуду з метою вибору більш раціональної форми поперечного перерізу.

Для визначення напружено-деформованого стану нетонких циліндричних оболонок з поперечним перерізом у вигляді з'єднаних напівгофрів застосовано чисельно-аналітичну методику, яка базується на зведенні вихідної тривимірної крайової задачі, що описується системою диференціальних рівнянь в частинних похідних зі змінними коефіцієнтами до одномірної, яка описується системою звичайних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами з використанням методу відокремлення змінних у двох координатних напрямках із застосуванням апроксимації функцій дискретними рядами Фур'є та розв'язанням останньої стійким чисельним методом дискретної ортогоналізації [2].

На основі аналізу напружено-деформованого стану оболонок даного класу встановлено характерні особливості розподілу полів переміщень та напружень, викликаних прикладеним поверхневим навантаженням.

Література

1. Григоренко Я.М., Рожок Л.С.: Напружений стан порожнистих циліндрів з опуклим гофрованим поперечним перерізом. Мат. методи та фіз. – мех. поля. 55 (4), 125 – 130 (2012)
2. Григоренко Я.М., Рожок Л.С.: Напряженное состояние полых цилиндров с вогнутым гофрированным поперечным сечением разной кривизны. Прикл. механика. 52 (6), 26 – 33 (2016)

ТЕРМОПРУЖНА ПОВЕДІНКА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО ШАРУ ЗА НЕОДНОРІДНОЇ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДІЇ

Р.О. Івасько, Р.С. Мусій, А. Станік-Беслер, А.Р. Торський

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)
Політехніка Опольська (Польща)*

У сучасних технологічних процесах часто використовують імпульсні електромагнітні поля (ІЕМП) з модуляцією амплітуди, зокрема в режимі з імпульсним модульним сигналом (РІМС) [1]. Відомі дослідження термонапруженого стану (ТНС) і несучої здатності (НЗ) електропровідного шару з плоскопаралельними межами за однорідної дії в РІМС [2]. Проте значний практичний інтерес в процесах технологічної обробки становлять дослідження ТНС і НЗ за неоднорідної дії ІЕМП.

Розглянемо шар з плоскопаралельними межами (віднесений до декартової системи координат x, y, z , площина xOy якої збігається зі серединною поверхнею шару за неоднорідної (періодичної по поздовжній координаті x) дії ІЕМП в РІМС. Електромагнітна дія окреслена значеннями $H_y(x, \pm h, t) = kH_0(e^{-\beta_1 t} - e^{-\beta_2 t})\cos \vartheta x \cdot \cos \omega t$ дотичної компоненти H_y вектора напруженості магнітного поля $\vec{H} = \{0; H_y; 0\}$ на основах $z = \pm h$ шару постійної товщини $2h$. Тут k – нормувальний множник, H_0 – амплітуда електромагнітних коливань несучої частоти ω ; β_1 і β_2 – параметри що характеризують часи фронтів наростання і спадання модульного імпульсу; ϑ – параметр, що характеризує косинусоїдальний характер зміни ІЕМП по поздовжній координаті x ; t – час. При визначенні ТНС і НЗ електропровідного шару, зумовлених двома фізичними чинниками впливу дії ІЕМП на нього (джоулевим теплом Q і пондеромоторними силами $\vec{F}$) за вихідну вибрано систему рівнянь плоскої динамічної задачі термомеханіки для шару [3].

На основі проведеного числового аналізу ТНС даного шару за наявної дії отримано такі закономірності його термомеханічної поведінки:

- на відміну від однорідної дії в РІМС резонансні явища проявляються практично на чотирьох частотах, три з яких залежать від параметра ϑ ;
- зі зменшенням неоднорідності (параметр $\vartheta \rightarrow 0$) розв'язок задачі збігається з аналогічним за однорідної дії;
- порівняно з однорідною дією в РІМС додатково виникають компоненти F_x пондеромоторної сили та зсувні напруження σ_{xz} , які є суттєвими за великих значень параметра ϑ ; рівні сумарних напружень σ_{xz} і σ_{zz}^F однакові, а значення компоненти F_x сили може перевищувати значення F_z вдвічі.

Література

1. Батыгин Ю. В., Лавинский В. И., Хищенко Л. Т. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Харьков: МОСТ., 2003. – 288 с.
2. Гачкевич О. Р., Мусій Р. С., Тарлаковський Д.В. Термомеханіка неферромагнетних електропровідних тіл за дії імпульсних електромагнітних полів з модуляцією амплітуди. – Львів: СПОЛОМ, 2011. – 216 с.
3. Гачкевич А. Р. Термомеханика электропроводных тел при воздействии квазиустановившихся электромагнитных полей. – К.: Наук. думка, 1992. – 192 с.

РАЗРУШЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ И ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕЩИНОЙ ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ТРЕЩИНЫ

В.М. Назаренко, М.В. Довжик

Институт механики им. С.П. Тимошенка НАН Украины

Рассматривается пространственная осесимметричная задача про разрушение композитных и высокоэластичных материалов с приповерхностной трещиной при двухосном равномерном сжатии вдоль плоскости трещины. В качестве материалов рассматривались композит с приведенными характеристиками трансверсально-изотропной среды (исследовался случай, когда размеры трещины значительно больше характерных размеров составляющих композита) и высокоэластичный материал с потенциалом Трелоара. В этом случае, задача сводится к решению системы интегральных уравнений Фредгольма с дополнительным условием [1].

$$\begin{aligned} f(\xi) + \frac{1}{\pi k} \int_0^1 M_1(\xi, \eta) f(\eta) d\eta + \frac{1}{\pi k} \int_0^1 N_1(\xi, \eta) g(\eta) d\eta &= 0; \\ g(\xi) + \frac{1}{\pi k} \int_0^1 M_2(\xi, \eta) g(\eta) d\eta + \frac{1}{\pi k} \int_0^1 N_2(\xi, \eta) f(\eta) d\eta + \tilde{C}_1 &= 0; \\ \int_0^1 g(\xi) d\xi &= 0 \quad (0 \leq \xi \leq 1, 0 \leq \eta \leq 1). \end{aligned} \quad (1)$$

Для решения системы интегральных уравнений Фредгольма (1) использовалась численно аналитическая методика, предложенная в [2]. В результате задача сводится исследованию системы линейных уравнений:

$$\sum_{i=0}^N F_i F_{1ji} + \sum_{i=0}^N G_i G_{1ji} = 0; \quad \sum_{i=0}^N F_i F_{2ji} + \sum_{i=0}^N G_i G_{2ji} + \tilde{C}_1 = 0; \quad \sum_{i=0}^N \frac{1}{i+1} G_i = 0, \quad 0 \leq j \leq N, \quad (2)$$

с неизвестными величинами F_i , G_i , $\tilde{C}_1$, $i \in [0, N]$, где F_{kji} , G_{kji} – точные выражения, посчитанные аналитически, зависящие от констант материала и безразмерного расстояния между трещинами $\beta = ha^{-1}$.

Анализ критических напряжений и укорочений, полученных при решении задач говорит о применимости численно-аналитического метода, разработанного для высокоэластичных материалов, при исследовании композитных материалов. В обоих случаях при малых расстояниях между свободной поверхностью и плоскостью трещины, критические укорочения (напряжения) имеют квадратичную зависимость от расстояния между трещиной и свободной поверхностью.

Литература

1. Гузь А.Н. Механика разрушения материалов при сжатии вдоль трещин (обзор). Конструкционные материалы / Гузь А.Н., Назаренко В.М. // Прикл. механика. – 1989 – 25, №10. – С 3–19.
2. Гузь А. Н. Разрушение материалов при сжатии вдоль приповерхностной трещины для малых расстояний между свободной поверхностью и трещиной / А. Н. Гузь, М. В. Довжик, В. М. Назаренко // Прикл. механика. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 28–37.

ВПЛИВ ВКЛЮЧЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З ПРЯМОКУТНИМИ ОТВОРАМИ

В. С. Гудрамович¹, Е. Л. Гарт², О. А. Марченко²

¹ *Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, Дніпро;*

² *Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

Тонкостінні просторові конструкції, елементами яких є оболонки, знаходять широке застосування в найрізноманітніших галузях техніки, промисловості та енергетиці. Це пов'язано з поєднанням в них таких властивостей як відносна легкість і висока міцність. За різних – конструктивних або технологічних міркувань, в оболонках часто створюють отвори і прорізи, які є локальними концентраторами напружень, і можуть в процесі експлуатації конструкції привести до її передчасного виходу з ладу.

Оболонки, що застосовуються в реальних конструкціях, в більшості випадків мають традиційно прості геометричні форми поверхонь (оболонки обертання). Складні конструкції є зазвичай комбінацією вказаних форм оболонок. Врахування впливу локальних концентраторів на напружено-деформований стан (НДС) оболонки і способи зниження концентрації напружень в тонкостінних оболонках обертання є актуальним завданням механіки деформованого твердого тіла.

Одним із варіантів вирішення цього питання є застосування включень навколо отворів, різних геометричних форм і механічних властивостей. Це, у свою чергу, призводить до підвищення складності математичної моделі задачі, отримання розв'язку якої аналітичними методами у більшості випадків доволі складно, а іноді навіть неможливо. Тому при дослідженні НДС конструкцій з неоднорідностями (отворами, включеннями тощо) доцільно використовувати числові методи механіки, які, на відміну від аналітичних, є досить універсальними і придатними до розв'язування, зокрема, вказаного класу задач. До найбільш ефективних відносять сіткові методи: метод скінченних елементів, метод скінченних різниць тощо, та їх проєкційно-ітераційні схеми реалізації, що дозволяють суттєво зменшити витрати комп'ютерного часу розрахунків.

У цій роботі в результаті проведенного скінченно-елементного аналізу НДС циліндричної оболонки з чотирма видами видовжених прямокутних отворів (різна орієнтація розташування) та трьома видами підкріплюючих елементів (стрічкові, охоплюючі кутові, трикутні) отримано розподіл інтенсивності напружень і деформацій в оболонці в зонах локальних концентраторів напружень. Підкріплюючі елементи отворів змодельовані включеннями (вставками) із матеріалу з іншими, ніж основний матеріал оболонки, механічними властивостями. Вважалося, що на границях включень задано умови жорсткого зчеплення [1].

При використанні включень меншої жорсткості, ніж матеріал оболонки, встановлено зменшення інтенсивності напружень в місцях їх концентрації (у середньому на 30–40%), але у той же час спостерігається збільшення деформацій. У випадку використання включень з більшою жорсткістю матеріалу, ніж основний матеріал оболонки, має місце деяке збільшення інтенсивності напружень, проте зменшення деформацій (у середньому на 33%). Форма підкріплень і їх механічні властивості мають суттєвий вплив на розподіл параметрів НДС оболонки.

Література

1. Гудрамович В. С. Гарт Е. Л., Марченко О. А. Про вплив форми підкріплень на напружено-деформований стан циліндричної оболонки з видовженими прямокутними отворами // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. – Дніпро: Ліра, 2017. – Вип. 27. – С. 52–64.

О ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДАХ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

М.Е. Бабешко, А.З. Галишин, В.Г. Савченко

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

В современной технике широко используются тонкостенные и массивные составные конструкции, работающие в условиях переменного осесимметричного термосилового нагружения. Некоторые из них используются неоднократно, поэтому возникает вопрос об остаточном напряженно-деформированном состоянии таких конструкций и возможности их повторного использования. Для оценки работоспособности и прочности таких конструкций разработаны методы численного исследования напряженно-деформированного состояния с оценкой прочности тел и оболочек вращения, моделирующих соответствующие конструкции или их ответственные элементы. Вначале для определения распределения температуры в теле в произвольный момент времени необходимо найти решение соответствующей задачи теплопроводности, а затем решить задачу о напряженно-деформированном состоянии тела. Задача теплопроводности для тела решается методом конечных элементов. При решении задачи теплопроводности для тонких оболочек используется метод конечных разностей. При решении задачи о напряженно-деформированном состоянии тел и оболочек используются модифицированные уравнения термопластичности, описывающие неупругое деформирование изотропных материалов вдоль траекторий малой кривизны. Учитываются зависимость свойств материалов от температуры, появление и развитие зон пластических деформаций, разгрузка в пластических областях, вторичные пластические деформации и повторное нагружение. При учете вторичных пластических деформаций предполагается, что материал обладает идеальным эффектом Баушингера. Процесс нагружения разбивается на ряд малых этапов, на каждом из которых в процессе последовательных приближений определяется напряженно-деформированное состояние соответствующего тела. Пространственная задача решается с использованием метода конечных элементов; в каждом приближении система разрешающих уравнений решается с использованием метода Гаусса. Задача о напряженно-деформированном состоянии оболочки решается в геометрически линейной постановке в рамках гипотез Кирхгофа – Лява; в каждом приближении решается краевая задача для системы шести обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием метода Рунге – Кутты с дискретной ортогонализацией и нормализацией по С.К.Годунову. По найденным в результате решения компонентам напряженного состояния оценивается прочность исследуемого тела; для этого используются известные из литературы критерии прочности – максимального главного напряжения, Мизеса или Сдобырева.

С применением разработанных методов было исследовано напряженно-деформированное состояние некоторых ответственных элементов современной техники и дана оценка их работоспособности и возможности повторного использования [1 и др.].

Література

1. Шевченко Ю.М. та ін. Методика прогнозування експлуатаційного і граничного стану відповідальних систем ракетної техніки при повторних термосилових навантаженнях // Наука та інновації. – 2015. – 11, № 5. – С. 24 – 36.

К РАСЧЕТАМ ТЕРМОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

М.Е. Бабешко

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

Некоторые современные конструкции, работающие в условиях термосилового нагружения, подвергаются радиационному воздействию, в результате которого значительно изменяются механические свойства материалов. В работах, посвященных исследованию влияния внешнего радиационного облучения на свойства различных конструкционных материалов, установлено, что действие нейтронных потоков на элементы конструкций изменяет характеристики материалов и приводит к их набуханию. Показано, что изменение упругих свойств изотропных материалов под действием радиационного облучения незначительно, но изменение пределов текучести, упрочнения и прочностных свойств может быть существенным. Поэтому при исследовании эксплуатационных и предельных режимов работы таких конструкций наряду с зависимостью свойств ее материалов от температуры и истории нагружения необходимо учитывать влияние радиационного облучения. В частности, особый интерес представляют исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, работающих в условиях неравномерного нагрева и облучения, поскольку с повышением температуры пределы текучести и упрочнения для многих сталей уменьшаются, а с увеличением дозы облучения пределы текучести металлов увеличиваются при значительном уменьшении их упрочнения.

Для проведения численного исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций в виде оболочек вращения, работающих за пределами упругости в условиях осесимметричного термосилового нагружения и радиационного облучения, разработана методика и выполнен ряд расчетов. Методика базируется на использовании модифицированных уравнений терморadiационной пластичности, описывающих процессы деформирования вдоль траекторий малой кривизны, и гипотез Кирхгофа – Лява. Модификация определяющих уравнений заключается в представлении связи между компонентами тензоров напряжений и деформаций, а не их приращений. Определяющие уравнения позволяют учитывать зависимость свойств материала от температуры, дозы радиации и истории нагружения. Задача решается в геометрически линейной квазистатической постановке. Процесс нагружения разбивается на ряд малых этапов. На произвольном этапе в процессе последовательных приближений находится решение краевой задачи для системы шести дифференциальных уравнений, в которой компоненты расширенной матрицы определяются с использованием результатов, полученных в предыдущем приближении и на предыдущем этапе.

С использованием разработанной методики выполнен ряд расчетов напряженно-деформированного состояния конкретных оболочек. Как показали расчеты, при решении задач с учетом действия радиационного облучения необходимо разбивать процесс нагружения на более мелкие этапы, чем при решении такой же задачи термопластичности без учета действия радиации, поскольку во многих элементах оболочки происходит частичная разгрузка, которая затем может смениться активным нагружением. Также было замечено, что количество приближений на этапе возрастает по сравнению с решением такой же задачи без учета действия радиации. Следует также отметить, что учет действия радиационного облучения в некоторых случаях привел к значительному увеличению зон пластических деформаций.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ОСЛАБЛЕННЫХ ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ

¹ А. П. Дзюба, ² В. Н. Сиренко, ¹ П. А. Дзюба, ¹ Е. Ф. Прокопало

¹Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

²Государственное предприятие «КБ «Южное»

В работе представлены результаты широкого спектра системных экспериментальных исследований устойчивости моделей, изготовленных из ортотропного материала (чертёжной бумаги со стабильными механическими свойствами) цилиндрических оболочек при наличии на их боковой поверхности отверстий различной формы (круговых, квадратных, прямоугольных), различного размера, размещения и количества. В целом, по единой методике было изготовлено и испытано более 2000 моделей на действие различных видов статического силового нагружения: осевого и внецентренного сжатия, растяжения, кручения, чистого и поперечного изгиба.

По результатам системных широкомасштабных экспериментальных исследований были выявлены и проанализированы новые аспекты процесса потери устойчивости, закономерностей волнообразования и форм выпучивания, построены зависимости критической нагрузки цилиндрической оболочки от различных параметров испытанных образцов:

- размера и соотношения сторон прямоугольного отверстия поверхности оболочки под действием крутящего момента, чистого и поперечного изгиба;
- количества круговых отверстий, регулярно расположенных в окружном направлении поперечных (разных по длине оболочки) сечений при кручении;
- количества квадратных отверстий под действием осевого сжатия и чистого изгиба;
- эксцентриситета, обусловленного наличием одного кругового отверстия различного диаметра при нагружении осевой сжимающей силой или крутящим моментом;
- соотношения сторон прямоугольного отверстия и координат размещения (в окружном направлении) кругового отверстия различного диаметра для случая поперечного изгиба.

Выявлено, что зависимость критической нагрузки от параметра(ов) отверстия(ий) качественно подобны при различных видах статического нагружения. Такие зависимости не являются монотонными и имеют характерные изломы, наличие которых объясняется наблюдаемой в эксперименте сменой форм волнообразования.

Полученные результаты позволили выявить ряд важных с научной точки зрения и в прикладном отношении аспектов проблемы. Они могут служить надёжной основой для повышения достоверности и усовершенствования существующих математических моделей, верификации численных алгоритмов, а также непосредственно для прогнозирования несущей способности оболочечных конструкций с отверстиями различной формы, размеров, количества и размещения. Результаты представлены в виде картин форм потери устойчивости, таблиц и графиков.

ДИНАМИКА СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВРАЩЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗКАХ

Ю.А. Мейш, С.П. Орленко

Институт механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

В данной работе создана комплексная методика расчета динамики составных слоистых оболочечных конструкций вращения при нестационарных нагрузках. Методика включает: постановку задач теории слоистых оболочек вращения, численный метод решения задач, графическая обработка полученных результатов. Для задачи динамического поведения трехслойного обтекателя полусфера – цилиндрическая оболочка выполнено комплексное расчетно – экспериментальное исследование поведения обтекателя при действии на него плоской ударной волны. Важной особенностью являются экспериментальные исследования по определению плоской ударной волны. Постановка задач теории слоистых оболочек вращения основана на применении уравнений колебаний оболочек на базе уточненной модели С.П. Тимошенко. Для численного решения динамических задач применен конечно – разностный подход, основанный на применении интегро – интерполяционного метода построения конечно – разностных схем по пространственной координате и явной аппроксимации по временной координате. Проведены теоретические исследования устойчивости приведенных конечно – разностных схем.

Рассмотрены задачи моделирования динамического поведения составного трехслойного обтекателя при действии ударных волн и динамического поведения цилиндрической оболочки с деформируемой перегородкой при импульсной нагрузке. Рассматриваемый обтекатель представляет собой трехслойную структуру, которая состоит из двух обшивок толщиной $1,3 \cdot 10^{-3}$ м и $0,85 \cdot 10^{-3}$ м и расположенным между ними ячеистым заполнителем при общей толщине $11 \cdot 10^{-3}$ м. Интегральные физико-механические характеристики обтекателя брались согласно паспортных данных изделия. При математическом моделировании динамики обтекателя показано, что максимальное перемещение в самых опасных точках обтекателя (полус полусферы и середина цилиндрической оболочки) не превышает $0,2h$. Максимальная величина деформаций ε_{22} порядка 10^{-3} , а максимальные значения напряжений σ_{22} не превышают величин порядка 10^6 Па. Расчеты показали, что обтекатель сохраняет свою работоспособность после воздействия на него ударной волны в направлении оси до $\Delta P = 0,2 \cdot 10^5$ Па.

При рассмотрении задачи динамического поведения цилиндрической оболочки с деформируемой перегородкой показано, что перегородка практически не оказывает влияния на распределение продольных волн напряжения σ_{11} при продольном ударе. Четко проявляется влияние деформируемой пластины на величины σ_{22} и u_3 в цилиндрической оболочке. Полученные результаты позволяют проследить эффект отражения поперечных волн напряжения σ_{22} и волн прогиба u_3 от места стыковки цилиндрическая оболочка – деформируемая пластина. Значение σ_{22} уменьшается в 2,5 – 3 раза по сравнению со значениями оболочки без пластины. Наблюдается эффект квази- запирания волн прогиба в части цилиндрической оболочки при $0,5L \leq x \leq L$.

ПЛОСКА ЗАДАЧА ПРО РОЗШАРУВАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ ОСНОВИ ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ

Н.Л. Козакова

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

Роботу присвячено дослідженню нелінійної поведінки багатошарової системи, що знаходиться під дією власної ваги. При виконанні дослідження застосовано чисельно-аналітичне моделювання нелінійних процесів деформування тришарової системи.

Розглядається система, що займає плоску область

$$\Omega = \bigcup_{k=1}^3 \Omega^{(k)}, \quad \Omega^{(1)} = \{(x_1, x_2), x_1 \in (-\infty, +\infty), x_2 \in [0, h^{(1)}]\},$$

$$\Omega^{(2)} = \{(x_1, x_2), x_1 \in (-\infty, +\infty), x_2 \in [-h^{(2)}, 0]\},$$

$$\Omega^{(3)} = \{(x_1, x_2), x_1 \in (-\infty, +\infty), x_2 \in [-(h^{(3)} + h^{(2)}), -h^{(2)}]\}.$$

Пружні шари (верхній та нижній) мають питому вагу ρ_1 та ρ_3 . Середній шар вважаємо порожнім. Крайові умови введемо так:

на нижній межі верхнього та верхній межі нижнього шарів ($x_2 = 0, x_2 = -h^{(2)}$) $\sigma_{22}^{(k)} = 0, \sigma_{12}^{(k)} = 0, k = 1, 3$ для всіх $-\infty < x_1 < +\infty$.

Для всіх $x_2 = -(h^{(2)} + h^{(3)}), -\infty < x_1 < +\infty$, маємо $u_1^{(2)} = 0, u_2^{(2)} = 0$.

За умови симетрії маємо $u_1^{(2)} = 0, \sigma_{12}^{(k)} = 0, k = 1, 3$ для $x_1 = 0, h^{(1)} \leq x_2 \leq -(h^{(2)} + h^{(3)})$.

Крайовій задачі відповідає варіаційна постановка: необхідно знайти вектор $W = \{u_i^{(k)}, \varepsilon_{ij}^{(k)}\}, i, j = 1, 2, k = 1, 3$, такий, що

$$W = \arg \min_{W \in \bar{W}} J_{\Pi}(W), \quad (1)$$

де функціонал повної енергії системи зображується у такий спосіб:

$$J_{\Pi}(W) = \sum_{k=1}^3 \iint_{\Omega^{(k)}} \left(\frac{1}{2} C_k^{ijlm} \varepsilon_{ij}^{(k)}(u) \varepsilon_{lm}^{(k)}(u) - \rho^{(k)} g u_2^{(k)} \right) dx_1 dx_2, \quad (2)$$

де $C_k^{ijlm} > 0$ – коефіцієнти жорсткості, $i, j, l, m = 1, 2, k = 1, 3$; $\bar{U}, \bar{E}$ – множини, що є областями визначення невідомих задачі; $\bar{W} = \bar{U} \times \bar{E}$.

Для побудови розв'язку задачі (1) зроблено дискретизацію області. Для цього на областях $\Omega^{(k)}$ було введено сітку з вузлами в точках з координатами $X_s = \{x_{1s}, x_{2s}\}, s = \overline{1, N}$. Тоді невідомі функції $u_i^{(k)}, \varepsilon_{ij}^{(k)}$ подаються у вигляді векторів, компонентами яких є значення функцій задачі в вузлах сітки. Після підстановки скінченно-елементної апроксимації в функціонал (2) та виконання процедур інтегрування отримаємо систему нелінійних рівнянь відносно шуканих векторів переміщень, яку розв'язуємо методом Ньютона-Рафсона на кожному кроці ітераційного процесу.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНОК З КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ

П.З. Луговий, Ю.В. Скосаренко, С.П. Орленко
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

Метод сплайн-колокації [1], на відміну від використання подвійних тригонометричних рядів для апроксимації переміщень точок серединної поверхні оболонки, дозволяє суттєво розширити клас розв'язуваних прикладних задач, а в деяких випадках отримати більш точні чисельні результати. Наприклад, зменшення кроку сплайн-сітки по довжині оболонки в місцях її підкріплення кільцевими ребрами або розташування зосереджених мас, може привести до зменшення порядку розв'язувальної системи алгебраїчних рівнянь при тій же точності результатів. Можливість змінювати граничні умови на поперечних кромках оболонки дозволяє оцінити їх вплив на характеристики напружено-деформованого стану.

Раніше метод сплайн-колокації переважно використовувався для дослідження напружено-деформованого стану оболонок жорсткості яких повільно змінюється вздовж координати, по якій застосовується сплайн-апроксимація переміщень. Тут метод застосовується для оболонок з суттєво неоднорідною структурою.

В лінійній постановці розглядається задача про напружено-деформований стан багатопарових замкнених циліндричних ребристих оболонок, що взаємодіють з пружною основою та несуть зосереджені маси при статичних або динамічних навантаженнях. В основу задачі покладена теорія оболонок і стержнів, основана на зсувній моделі Тимошенка [2] і енергетичний метод. Напружено-деформований стан оболонки при дії нестационарних навантажень знаходиться методом розкладення розв'язку по формах власних коливань [2, 3]. На поперечних кромках оболонки виконуються довільні комбінації природних граничних умов, отриманих при виводі варіаційного рівняння. Методика реалізована у вигляді пакету обчислювальних програм.

На прикладі ряду оболонок проведено дослідження практичної збіжності результатів розрахунку для двох типів граничних умов і виконано порівняння отриманих даних з результатами інших авторів.

Проведено дослідження напруженого стану трубки парогенератора атомного реактора з урахуванням шламу, що накопичується на ній в процесі експлуатації. Трубка розглядається як довга оболонка, яка знаходиться під дією внутрішнього тиску. Представляє інтерес напружений стан, що виникає біля опор в процесі накопичення на

трубці шламу. Розрахунки виконані у вказаній зоні з шагом сплайн-сітки $\Delta\xi = \frac{2h}{3r}$.

Отримано, що наявність шламу, може привести до збільшення опорного згинального моменту не більше, ніж в 5,5, а перерізуюча сила на опорі – не більше, ніж в 2,6 рази.

Література

1. Я.М. Григоренко, Ю.Н. Шевченко Численные методы. В кн. Механика композитов. Т. 11 – Киев, «А.С.К.», 2002. – 448 с.
2. С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер Колебания в инженерном деле М.: «Машиностроение», 1985. – 472 с.
3. Луговий П.З., Сіренко В.М., Скосаренко Ю.В., Батугіна Т.Я. Математичне моделювання динаміки циліндричного адаптера під дією локального імпульсного навантаження // Наука та інновації. – 2016. –12, № 3.С. 35 – 43.

ПЛОСКАЯ КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ДВУХ ОДИНАКОВЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПОЛОС, УСИЛЕННЫХ УПРУГИМИ ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫМИ НАКЛАДКАМИ

С.Ю. Бабич¹, Н.Н. Дихтярук², В.Ф. Лазар³, Н.И. Игнатишин³

¹Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

²Хмельницкий национальный университет

³Мукачевский государственный университет

В данной работе в рамках линеаризированной теории упругости [1] дана постановка и решение контактной задачи о передаче нагрузки от периодически расположенных упругих накладок конечной длины к двум одинаковым заземленным по одному краю полосам с начальными напряжениями. Предполагается, что две упругие полосы изготовлены из одинаковых сжимаемых или несжимаемых материалов с потенциалом произвольной структуры, а также, что в данных полосах действуют одинаковые начальные (остаточные) напряжения. Считается, что они соединены между собой на конечных отрезках $[-a + 2kl, a + 2kl]$, ($l > a, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) периодически повторяющимися упругими накладками малой толщины h . Начальные напряжения в упругих накладках отсутствуют и они находятся в условиях плоской деформации, модуль упругости материала накладок E_j и коэффициент Пуассона ν_j . Толщина предварительно напряженных полос H . Требуется определить влияние присутствия начальных напряжений в упругих полосах на закон распределения нормальных $p(y_1)$ и тангенциальных $q(y_1)$ контактных напряжений в области контакта упругих накладок с упругими полосами, когда на них действует горизонтальная периодическая нагрузка с периодом $2l$ и интенсивностью $q_0(y_1)$.

В силу периодичности рассматриваемой задачи влияние начальных напряжений под каждой из упругих тонких накладок будет одинаковым, поэтому можно ограничиться рассмотрением только одной из них. Рассматривается, например, накладка, которая размещена на отрезке $[-a, a]$.

Следует отметить, что упругая накладка в вертикальном направлении Oy_2 изгибается как обычная балка, а в горизонтальном направлении оси Oy_1 сжимается или растягивается как обычный стержень с конечной жесткостью, который находится в одноосном напряженно-деформированном состоянии. Задача сведена относительно тангенциальных контактных напряжений к сингулярному интегро-дифференциальному уравнению, решение которого находится в виде ряда по полиномам Якоби. Далее, после ряда преобразований, получена квазирегулярная бесконечная система линейных алгебраических уравнений, решение которой ищется при помощи известных численных методов.

В результате проведенных исследований получено, что начальные напряжения в упругих полосах существенно влияют на закон распределения контактных напряжений. В случае отсутствия начальных напряжений полученные результаты совпадают с классическими.

Литература

1. Гузь А.Н., Бабич С.Ю., Глухов Ю.П. Смешанные задачи для упругого основания с начальными напряжениями. Германия, 2015. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 468 с.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОКРИТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КОЛИВАННЯ СКЛАДЕНИХ ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ

О. І. Беспалова, Н. П. Борейко

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

В роботі розглядаються коливання пружних систем, що складені зі спряжених співвісних анізотропних оболонок обертання різної геометрії і структури та знаходяться в полі статичних осесиметричних навантажень різного виду і природи [1 – 3]. Врахування попереднього напружено-деформованого стану, що зумовлений дією статичних полів, є важливим фактором для аналізу як власних частот таких систем, так і їх стійкості за динамічним критерієм.

Теоретичною основою дослідження є геометрично нелінійна теорія в квадратичному наближенні на основі припущень класичної моделі Кірхгоффа – Лява та уточненої моделі типу Тимошенка. Матеріал оболонок при всіх видах і величинах навантаження вважається лінійно-пружним і таким, що відповідає узагальненому закону Гука. У припущенні, що коливання оболонок є малими збуреннями відносно основного (докритичного) стану, приймається фізично обґрунтована декомпозиція вихідної нелінійної задачі на нелінійну осесиметричну задачу щодо визначення напружено-деформованого стану діючого статичного навантаження та двовимірну задачу про вільні коливання попередньо навантажених складених оболонок обертання.

Математичним апаратом розробленої чисельно-аналітичної методики розв'язання відповідних задач є такі методи: лінеаризація за Ньютоном – Канторовичем – Рафсоном, розвинення в ряди Фур'є за коловою координатою, покроковий пошук, метод послідовних наближень в формі оберненої ітерації та чисельний метод ортогональної прогонки.

На основі запропонованої методики проведено дослідження впливу докритичного напружено-деформованого стану на власні частоти нижчої ділянки спектру коливань оболонок систем з елементами різної гауссової кривизни.

Показано, що для складених систем задані статичні навантаження неоднозначно впливають на частоти розглянутого діапазону, тобто значення одних частот можуть підвищуватися, інших – знижуватися або практично не змінюватися. Ця особливість складених систем (а також оболонок ненульової кривизни) відрізняє їх від випадку окремих оболонок нульової гауссової кривизни, коли наявність попереднього навантаження або підвищує всі розглянуті частоти, або всі їх знижує. Виявлено діапазон власних частот системи, значення яких практично не залежать від заданого навантаження. Результати розрахунків дозволяють передбачити можливість втрати стійкості системи за осесиметричною формою типу «хлопок» або біфуркаційну втрату стійкості з утворенням «випучин-вм'ятин» в коловому напрямку.

Література

1. Беспалова О.І., Яремченко Н.П. Визначення напружено-деформованого стану спряжених гнучких оболонок обертання при докритичних навантаженнях // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. – 2017. – Вип. 4. – С. 29-36.
2. Besspalova E., Urusova G. Vibrations of compound shells of revolution with elliptical toroidal members // Thin-Walled Struct. – 2018. – Vol. 123. – P. 185 – 194.
3. Besspalova E.I., Boreiko N.P. Natural Frequencies of Compound Anisotropic Shell Systems Basing on Different Models of Straining // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, N 1. – P. 44 – 59.

РІВНОВАГА МІЖФАЗНИХ ЗСУВНИХ ТРІЩИН У КУТОВІЙ ТОЧЦІ МЕЖІ ПОДІЛУ СЕРЕДОВИЩ КУСКОВО-ОДНОРІДНОЇ ІЗОТРОПНОЇ ПЛОЩИНИ

В.М. Назаренко, О.Л. Кіпніс

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ

В умовах плоскої деформації, в рамках статичної симетричної задачі досліджено пружна рівновага кусково-однорідної ізотропної площини з межею поділу середовищ у формі сторін кута, за наявності міжфазних зсувних тріщин, які зародилися у кутовій точці цієї межі. Вважається, що тертя між берегами тріщин відсутнє. На нескінченності асимптотика поля напружень співпадає з асимптотикою поля напружень біля кутової точки у відповідній задачі без тріщин [1].

З використанням апарату інтегрального перетворення Мелліна [2] задачу зведено до функціонального рівняння Вінера – Хопфа [3] у смугі комплексної площини, що містить уявну вісь. Факторизація коефіцієнта рівняння на уявній осі здійснюється шляхом його розщеплення на функцію, яка факторизується за допомогою гамма-функцій [4], і функцію, яка факторизується за формулою Гахова [5]. З використанням цих факторизацій побудовано точний розв'язок рівняння Вінера – Хопфа, який виражається через інтеграли типу Коші та гамма-функції.

На основі розв'язку рівняння Вінера – Гопфа одержано формулу для коефіцієнта інтенсивності напружень у кінці міжфазної зсувної тріщини.

Виходячи з силового критерія руйнування одержано рівняння для визначення руйнуючого навантаження. Зрушення тріщин відбудеться тоді, коли параметр навантаження, зростаючи за модулем зі зростанням зовнішнього навантаження, досягне свого граничного значення.

Аналізуючи формулу для коефіцієнта інтенсивності напружень, керуючись критерієм стійкості рівноваги тріщин, одержано наступний результат. Якщо у кутовій точці межі поділу ізотропних пружних середовищ зародилися міжфазні тріщини, довжина яких в значній мірі менша, ніж розміри тіла, то у випадку повного гладкого контакту берегів її рівновага є нестійкою. Після досягнення стану граничною рівноваги режим розвитку тріщин буде динамічним.

Література

1. Кипніс А.Л. О подходе к решению задач о межфазных трещинах, зародившихся в угловых точках кусочно-однородного тела / А.Л. Кипніс // Доповіді НАН України. – 2014. – № 10. – С.51 – 55.
2. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. – Ленинград: Наука, 1967. – 402 с.
3. Нобл Б. Применение метода Винера – Хопфа для решения дифференциальных уравнений в частных производных. – Москва: Изд-во иностр. лит., 1962. – 279 с.
4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – Москва: Наука, 1987. – 688 с.
5. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. – Москва: Наука, 1977. – 640 с.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ РІДКОЇ ПЛІВКИ ПО КОНІЧНІЙ ПОВЕРХНІ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Г.В. Беджанова, І.С. Тонкошкур

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Обертові потоки рідини широко застосовуються в різних технологічних процесах, наприклад, в хімічній, харчовій та нафтогазовій галузях промисловості. При цьому часто використовують неньютонівські рідини, які мають особливі властивості. У зв'язку з цим становить інтерес розробка методів розрахунку течій реологічно складних середовищ.

В роботі розглянуто задачу про стаціонарну течію неньютонівської рідини близько конуса, що обертається навколо своєї осі з постійною кутовою швидкістю Ω . Припускається, що вісь тіла розташована вертикально, а течія рідини – стаціонарна, безхвильова і осесиметрична. Вводиться ортогональна система координат (ξ, η, ζ) , зв'язана з поверхнею конуса: координата ξ направлена уздовж твірної конуса, η – полярний кут в площині, перпендикулярній до осі тіла, ζ – відстань по нормалі до поверхні.

Рівняння нерозривності, імпульсу і енергії, що описують течію в'язкої рідини, в наближенні примежового шару мають вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{u}{\xi} + \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{w}{\xi} \operatorname{ctg} \theta &= 0, \quad \frac{\partial p}{\partial \zeta} = 0, \\ \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial \xi} + w \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{v^2}{\xi} \right) &= \frac{\partial \tau_{\xi\zeta}}{\partial \zeta}, \\ \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial \xi} + w \frac{\partial v}{\partial \zeta} + \frac{uv}{\xi} \right) &= \frac{\partial \tau_{\zeta\eta}}{\partial \zeta}, \\ \rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial \xi} + w \frac{\partial T}{\partial \zeta} \right) &= k \frac{\partial^2 T}{\partial \zeta^2} + \mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial \zeta} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \zeta} \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

Тут u, v, w – компоненти вектору швидкості рідини в напрямку осей координат, p – тиск, T – температура, ρ – густина рідини, $\tau_{\xi\zeta}, \tau_{\zeta\eta}$ – компоненти тензора в'язких напружень.

Крайові умови

$$\begin{aligned} u = 0, \quad v = \xi\Omega, \quad w = 0, \quad T = T_0 \quad \text{при} \quad \zeta = 0, \\ \frac{\partial u}{\partial \zeta} = \frac{\partial v}{\partial \zeta} = 0, \quad p + \tau_{\xi\zeta} = p_0, \quad w = u \frac{\partial h}{\partial \xi} \quad \text{при} \quad \zeta = h. \end{aligned}$$

Для замикання системи диференціальних рівнянь використовується степенева реологічна модель в'язкої рідини [1]. Невідома товщина плівки h визначається з інтегрального рівняння нерозривності.

Система диференціальних рівнянь в частинних похідних за допомогою автотемпериатурних змінних зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь. Розв'язок одновимірної крайової задачі знаходиться чисельно, з використанням системи Maple. Проведено розрахунки течій рідини навколо обертового конуса при різних значеннях визначальних параметрів.

Література

1. Шульман З.П. Конвективный тепломассоперенос реологически сложных жидкостей. – М.: Энергия, 1975. – 352 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ В ТРУБЦІ З ЕЛАСТИЧНИМИ СТІНКАМИ

В.С. Шеремет, І.С.Тонкошкур

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Математичне моделювання течій в'язкої рідини в трубах і каналах становить значний інтерес, оскільки такі течії широко розповсюджені в різних технологічних, біологічних і природних процесах.

У даній роботі розглядається задача про нестационарну течію рідини в судині, що представляє собою трубку з жорсткою або з еластичною стінкою. Для опису течії рідини використовується модель, що базується на рівняннях імпульсу і нерозривності. Задача розв'язується в квазіодновимірному наближенні. Величини тиску і швидкості осереднені по поперечному перерізу потоку. У цьому випадку течія в судині описується наступною системою нелінійних рівнянь в частинних похідних:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} = 0, \quad 0 < x < L, \quad t > 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right) = \frac{F}{\rho},$$

де L – довжина судини, x – поздовжня координата, t – час, $s(x,t)$ – площа поперечного перерізу судини, $u(x,t)$ – швидкість течії рідини уздовж осі судини, $p(x,t)$ – тиск, ρ – густина рідини, $F(x,t)$ – об'ємна густина зовнішніх сил.

Початкові умови

$$p(x,0) = p_0(x), \quad u(x,0) = u_0(x).$$

Крайові умови

$$\alpha_1 p(0,t) + \beta_1 u(0,t) = \gamma_1(t),$$

$$\alpha_2 p(0,t) + \beta_2 u(0,t) = \gamma_2(t),$$

де $p_0(x)$, $u_0(x)$, $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$ – задані функції, α_i , β_i – задані сталі.

Для замикання системи диференціальних рівнянь використовується напівемпірична залежність площі поперечного перерізу від тиску в потоці для еластичної стінки $s = s(p)$ [1]:

$$s(p) = \begin{cases} s_{\min} + \frac{s_{\max} - s_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}} (p - p_{\min}), & p_{\min} < p < p_{\max} \\ s_{\min} & , \quad p < p_{\min} \\ s_{\max} & , \quad p_{\max} < p \end{cases},$$

де $s_{\min}$, $s_{\max}$, $p_{\min}$, $p_{\max}$ – фізичні сталі. Для жорсткої стінки задається функція $s=s(x)$.

Для розв'язання даної крайової задачі застосовується скінчено-різницький метод. Проведено розрахунки течій рідини при різних значеннях фізичних параметрів.

Література

1. Астраханцева Е.В. Математическое моделирование гемодинамики крупных кровеносных сосудов / Е.В. Астраханцева, В.Ю. Гидаспов, Д.Л. Ревизников // Математическое моделирование, 2005, Т. 17, № 8, – С. 61-80.

DESCRIPTION OF A COMPLEX LOADING IN THE THEORY OF MICROSTRAIN

K. Panin

Oles Honchar Dnipro National University

To describe experiments on complex loading, the theory of plasticity, taking into account micro strain (Novozhilov, Kadashevich, Chernyakov), is used. This theory describes well an inelastic deformation of the polycrystalline metals. In this theory nonuniform plastic strain caused both by a granular structure of a polycrystal and nonuniform 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.

In order to use basic equations of the theory of micro strain for practical calculations we will present the stress (strain) trajectory in the form of broken line consisting of several segments. In such a case the problem of drawing the corresponding strain (stress) trajectories is reduced to one of determining the strain (stress) increments and subsequent addition thereof. In order to calculate the domain of the directions of active micro strains are used the square Gauss formulae. During this procedure the ultimate (stress) strain intensity variations should be determined at the integration points. Determination of the domain of the directions of active micro strains the domain of the directions of active micro strains is to be done by means of iteration. We should draw attention to one important factor which can considerably accelerate the whole calculating procedure, if the size of the strain trajectory is smaller then five. One can always choose such a deviator base as to obtain the number of multiple integrals being calculated in the basic equations equal to the size of the strain trajectory.

In two important cases, calculations by this algorithm are greatly simplified.

In the first case, when monotonic loading is realized, the active directions of micro plastic deformation active from a certain time point remain active at all other points in time. In this case, the domain of the directions of active micro strains fills the hypercone of rotation. The direction of the axis of the hypercone is determined by the direction of the active stress deviator. For a known domain of the directions of active micro strains, the specification of the defining relationships is not difficult. In this case, it is convenient to integrate relationships using a hyperspherical coordinate system.

The second case corresponds to an arbitrary plane trajectory of active loading, when in the process of loading no re-plastic deformation occurs after partial unloading. Then it is convenient to carry out calculations in a movable deviator basis, so that in the process of loading its first axis is directed along the active stress deviator, and the second lies in the loading plane. In this case, the domain of the directions of active micro strains is always included in the same domain reached during the loading process, which precedes the break point of the loading trajectory. This makes it easy to calculate multiple integrals in the defining relationships of the used variant of the theory of plasticity.

Based on the described algorithm, a program was constructed for calculating soft and hard loading in the case of one-dimensional, two-dimensional, and three-dimensional trajectories. Testing the program was carried out in the description of well known experiments on hard loading.

The obtained results indicate that the theory of plasticity, which takes into account micro strains, satisfactorily describes complex loading.

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПОБУДОВИ МОДУЛЯ НЕПЕРЕРВНОСТІ ДЛЯ ФУНКЦІЙ, ЩО ЗАДАНІ ГРАФІЧНО

В.О.Степаненко, О.В. Черницька

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Нехай $\omega(f; t) = \max \{ |f(x) - f(y)| : x, y \in [a, b], |x - y| \leq t \}$ - модуль неперервності,

$H^\omega[a, b]$ – клас функцій $\{f \in C[a, b] : \omega(f; t) \leq \omega(t)\}$ [1].

Була поставлена задача створення програмного забезпечення для побудови модуля неперервності функції, що задана пристроєм введення (комп'ютерна мишка, графічний планшет тощо) та перевірка належності цієї функції класам функцій $H^\omega[a, b]$, що задаються модулем неперервності.

Задача розбита на наступні етапи програмної реалізації:

а) зчитування та виведення графіка введеної графічно функції. На формі додатку задано систему координат певного розміру, на якій користувач може побудувати функцію графічно, використовуючи комп'ютерну мишку. Реалізовані обробники подій руху миші (натискання кнопки миші, рух з натиснутою кнопкою та відтискання клавіші). Обробники подій зчитують координати курсору та заносять їх до структури даних зі значеннями функції y_i та структури даних з аргументами функції x_i для подальшої обробки;

б) підвищення якості та зменшення похибки побудови функції. Є дві структури даних, з аргументами функції x_i та значеннями функції y_i відповідно. Реалізована процедура згладжування функції ковзним середнім на основі значень функції, отриманих на попередньому етапі;

в) побудова модуля неперервності функції. Неперервну функцію $f(x)$ на деякому відрізку $[a, b]$ представлено у вигляді структур даних з аргументами x_i та значеннями функції y_i . Реалізовано метод побудови модуля неперервності функції, заданої графічно, на основі означення модуля неперервності.

г) перевірка належності введеної функції класам функцій, що задаються модулем неперервності.

Для реалізації поставлених цілей було обрано інтегроване середовище розробки програмного забезпечення Microsoft Visual Studio, використано мову програмування C# [2]. Основними критеріями вибору мови C# були розроблені корпорацією Microsoft зручні інструменти у роботі з редактором коду, компілятором, класовою структурою та дослідженням отриманих даних, що покращують об'єктно-орієнтовану розробку програмного забезпечення. Бібліотека класів .NET Framework надає доступ до багатьох служб операційної системи, саме таких, які були необхідні для реалізації зчитування руху миші, роботи з масивами та списками елементів тощо. В інтегрованому програмному середовищі присутня можливість додавання прикладних бібліотек та пакетів для збільшення функціоналу програми. Це дало змогу підключити сторонню бібліотеку для роботи з формулами, що подані в текстовому вигляді.

Література.

1. Корнейчук Н.П. Точные константы в теории приближения. - М.: Наука, 1987. - 424с.
2. Шилдт Г. C# 4.0: полное руководство: Пер. с англ. - М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. - 1056 с.

ПРО ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РІДИНІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗІЛЕМБОВИХ ХВИЛЬ У СИСТЕМІ "ШАР В'ЯЗКОЇ РІДИНИ – ПРУЖНИЙ ПІВПРОСТІР"

О.М. Багно, Г.І. Щурук

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

На основі тривимірних рівнянь класичної теорії пружності для твердого тіла та тривимірних лінеаризованих рівнянь Нав'є – Стокса для рідини, що знаходиться в стані спокою [1–3], розглянуто динамічну задачу про поширення акустичних хвиль у пружному півпросторі, який взаємодіє з шаром в'язкої стисливої рідини. У роботі із залученням представлень загальних розв'язків рівнянь тривимірної лінеаризованої теорії гідропружності [1–3] досліджено вплив швидкості звуку в рідині на кінематичні характеристики хвильового процесу в гідропружній системі.

З використанням методу Фур'є отримано три задачі на власні значення для рівнянь руху пружного тіла та рідини. Розв'язуючи їх, знайдені відповідні власні функції. Після підстановки одержаних загальних розв'язків в граничні умови гідропружної задачі отримано дисперсійне рівняння, яке розв'язувалося чисельно. Розглянуто два гідропружних хвилевода з рідинами, швидкість поширення звукової хвилі в яких була різна. Отримана числова інформація дозволила дослідити вплив швидкості звуку в рідині на характеристики хвильового процесу в гідропружній системі.

Аналіз дисперсійного рівняння та отриманих числових результатів показав, що основним критерієм існування квазілембових нормальних хвиль в гідропружній системі, яка складається з рідкого шару та пружного півпростору, може служити співвідношення між швидкістю хвилі звуку в рідині V_F і швидкістю хвилі зсуву в матеріалі пружного тіла V_E . При $V_F > V_E$ в гідропружному хвилеводі поширюється лише одна поверхнева хвиля, швидкість якої змінюється від швидкості хвилі Релея V_R до швидкості хвилі Стоунлі – Шольте V_S . У разі виконання умови $V_F < V_E$ в гідропружному хвилеводі відбувається розщеплення єдиної поверхневої хвилі на безліч квазілембових мод високого порядку. При цьому швидкість першої моди при збільшенні частоти ω ($\omega \rightarrow \infty$) змінюється від швидкості хвилі Релея V_R до швидкості хвилі Стоунлі – Шольте V_S . Фазові швидкості мод вищого порядку при $\omega \rightarrow \infty$ змінюються від швидкості хвилі зсуву в матеріалі пружного тіла (при частотах їх зародження) V_E до швидкості хвилі звуку в рідині V_F . З отриманих числових результатів випливає, що вплив такого параметра, як швидкість хвилі звуку в рідині на характеристики хвильового процесу в гідропружній системі проявляється не тільки кількісно, але і якісно. Встановлено, що зростання величини швидкості звуку в рідині призводить до перетворення багатомодового хвилеводу в одномодовий і, навпаки, зменшення її викликає зворотну трансформацію характеристик хвилеводу. Запропонований підхід і отримані результати дозволяють для хвильових процесів встановити межі застосовності моделі нестисливої рідини.

Література

1. Гузь А.Н. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями: 2 части. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
2. Guz A.N. Dynamics of compressible viscous fluid. Cambridge: Cambridge Scientific Publishers, 2009. 428 p.
3. Гузь А.Н. Введение в динамику сжимаемой вязкой жидкости. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2017. 244 с.

КВАЗИЛИНЕЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Н. В. Петренко

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины

Данная работа посвящена задаче построения эффективных вычислительных алгоритмов для уравнений параболического типа с переменными коэффициентами, зависящими от температуры.

Для решения объёмной задачи кристаллизации для высокоинтенсивного процесса применяется метод суммарной аппроксимации на основе “размазывания” коэффициентов теплопроводности и удельного теплосодержания с применением сглаживания второго порядка. Одномерные краевые задачи аппроксимируются симметричной схемой Кранка-Никольсона. Так как в исходной системе дифференциальных уравнений учитывается зависимость коэффициентов от температуры то расчетные величины (фронт, температура) ищутся методом прогонки с итерациями. Характерными для решения этой задачи является повышенный порядок аппроксимации краевой условий без увеличения числа узлов сетки участвующих в аппроксимации. Для этой цели используется существование и непрерывность производных входящих в уравнения на границе области, а так же существование и ограниченность третьих производных. Построены также “сглаженные” коэффициенты теплопроводности и удельного теплосодержания для изучения процессов кристаллизации прямоугольного и радиального непрерывных слитков.

Рассмотрена задача кристаллизации непрерывного цилиндрического слитка. Данное решение построено с помощью явно- неявного метода. Отличительной особенностью этого метода от метода переменных направлений является то, что в случае постоянных коэффициентов этот метод является явным. Так же этот метод требует такое же число арифметических операций, как и обычные явные методы и вместе с тем этот метод более точен, так как неявное разностное уравнение позволяет увеличить точность вычислений за счет уменьшения коэффициентов при Δr^2 в выражении погрешности.

С помощью локального - одномерного метода найдено поле температур, поле концентраций и количество твердой фазы в единице объёма двухфазной зоны.

Рассмотрены уравнения параболического типа с отклоняющимся аргументом. Эти уравнения описывают процессы кристаллизации с последствием, в частности, введение запаздывания в изучаемую систему дифференциальных уравнений с частными производными.

Это решение позволяет изучить влияние истории, на формирование слитка и может быть причиной явлений существенно влияющих на этот технологический процесс.

С помощью дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом опережающего типа получены алгоритмы в цилиндрической и декартовой геометриях, для прогнозирования процесса кристаллизации. Развитие методов решения многомерных нестационарных задач связано с методами расщепления, основанными на неоднородных разностных аппроксимациях, исходной дифференциальной задачи. Развитие методов решения многомерных нестационарных задач связано с методами расщепления, основанными на неоднородных разностных аппроксимациях исходной дифференциальной задачи.

КВАЗИЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЗУЧЕСТИ ИЗОТРОПНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Б. П. Маслов

Институт механики им. С. П. Тимошенко

Полимеры и композитные материалы на их основе широко применяются в современном машиностроении. При циклическом нагружении проявляются эффекты гистерезиса, рассеяния энергии на каждом цикле [1]. В настоящей работе используем квазилинейную модель вязкоупругости, в рамках которой определяющие соотношения имеют вид [3]

$$\frac{\partial w}{\partial \mathbf{e}}(\mathbf{e}, \mathbf{x}, t) = \boldsymbol{\sigma}^R(t) = (\mathbf{g} * d\boldsymbol{\sigma})(t) = \int_{-\infty}^t \mathbf{g}(t-s) d\boldsymbol{\sigma}(s), \quad \mathbf{g}(t) = \mathbf{J}(t) / J(0); \quad (1)$$

Здесь $\boldsymbol{\sigma}(t)$ -тензор напряжений Коши, $\mathbf{g}(t)$ - приведенный тензор ползучести, $\boldsymbol{\sigma}^R(t)$ - модифицированные напряжения, определяемые через потенциальную функцию $w(\mathbf{e})$. С учетом членов третьего порядка относительно градиентов перемещений запишем $w(\mathbf{e}) = \frac{1}{2!} \mathbf{e} \mathbf{E} \mathbf{e} + \frac{1}{3!} (\mathbf{e} \mathbf{C} \mathbf{e}) \mathbf{e}$, $\mathbf{e} = \text{sym}(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}})$. В задачах теории ползучести используем также определяющие соотношения относительно дополнительной энергии деформации

$$u(\boldsymbol{\sigma}, t) = \mathbf{e} \boldsymbol{\sigma} - w(\mathbf{e}) = \int_0^t \mathbf{e} d\boldsymbol{\sigma}(t) = \frac{1}{2} \boldsymbol{\sigma} \mathbf{J} \boldsymbol{\sigma} + \frac{1}{3!} (\boldsymbol{\sigma} \mathbf{D} \boldsymbol{\sigma}) \boldsymbol{\sigma}. \quad (2)$$

Далее принимаем [2,3], что $\frac{\partial w}{\partial \mathbf{e}} = \sum_{s=1}^{\infty} \boldsymbol{\sigma}_{[s]}(\mathbf{e})$ — аналитическая функция от $\mathbf{e}$, отсчетная конфигурация является естественной и ограничимся приближением $\boldsymbol{\sigma}_{[s]}$, $s = 2$. При помощи принципа соответствия [1], выполним прогноз поведения материалов при циклических режимах нагружения. В задачах ползучести с периодическим возмущением, переходя в (2) к комплексным значениям упругих характеристик, получаем следуя [1,3]

$$\mu(\omega) = \mu_R(\omega) + i\mu_I(\omega), \quad (4)$$

ω — частота гармонических колебаний, μ_R, μ_I — действительная и мнимая части. Применяя методику [2,3], для многокомпонентных материалов найдем

$$\bar{\boldsymbol{\sigma}}(\omega) = \hat{\mathbf{E}}(\omega) \mathbf{e}(\omega) + (\mathbf{e} \hat{\mathbf{C}}(\omega)) \mathbf{e}(\omega), \quad (5)$$

где $\hat{\mathbf{E}}(\omega), \hat{\mathbf{C}}(\omega)$ — частотно зависимые приведенные тензоры [2]. Проведены численные эксперименты с целью выбора оптимальной структуры и состава изотропных многокомпонентных материалов [3] для возможного управления частотными, демпфирующими свойствами при заданных технологических ограничениях.

Литература

1. Булат А.Ф., Дырда В.И., Карнаухов В.Г. Прикладная механика упругонаследственных сред, Том 3, К: Наукова думка. — 213. — 427 с.
2. Maslov B.P. Reduced Dynamic Characteristics of Composite Materials with Initial Stress // Soviet Appl. Mech. — 1982. — 18, N6. — P. 547-550.
3. Maslov B. Stress concentration in nonlinear viscoelastic composites // Mechanics and Advanced Technologies, 2017, No 1 (79), pp. 5-10.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОСТОРОННИХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

С.А.Чернецкий

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

В работе представлена конечно-элементная реализация решения двумерных контактных задач несимметричной теории упругости с условиями контакта в виде неравенств.

В рамках несимметричной теории упругости, разработанной братьями Коссера [1], деформация описывается не только вектором перемещений u , но и вектором поворотов ω . А напряженное состояние - тензорами напряжений σ и моментных напряжений μ соответственно.

Условия контакта между слоями предполагаются нескольких типов: полное сцепление, гладкий контакт с возможностью отставания и проскальзывания. Ограничения формулируются в виде системы равенств и неравенств и накладываются не только на компоненты вектора перемещений, но и на компоненты вектора поворотов.

С помощью теории вариационных неравенств задача сводится к поиску минимума функционала полной энергии [2] на множестве допустимых перемещений и поворотов, удовлетворяющих условиям контакта слоев. Размеры участков контакта и отставания слоев заранее не задаются и являются искомыми параметрами.

Дискретизация вариационной задачи осуществляется методом конечных элементов. В качестве базового, используется конечный элемент с линейной аппроксимацией перемещений и поворотов. Задача нелинейного программирования решается многосеточным вариантом метода блочной верхней релаксации [3].

С помощью разработанного алгоритма получены численные решения задач несимметричной теории упругости для двуслойного тела. Результаты сравнивались с решениями этих задач в рамках классической и несимметричной теории упругости. Сравнение результатов позволяет сделать вывод об эффективности и достоверности предлагаемого конечно-элементного алгоритма.

Литература

1. Cosserat E., Cosserat F. Theorie des Corps Deformable. — Paris: Hermann, 1909.
2. Чернецкий С.А. Вариационная постановка односторонних контактных задач моментной теории упругости для многослойных тел. Міжнародна наукова конференція «Математичні проблеми технічної механіки – 2014». Матеріали конференції. Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, 2014. – с.106.
3. Кузьменко В.И., Чернецкий С.А. К решению задач нелинейного программирования, возникающих при численном исследовании контактного взаимодействия деформируемых тел. – Устойчивость и прочность элементов конструкций. – Днепропетровск, 1980, с. 10-17.

КУБ У ПОЛІ ВИПРОМІНЮВАННЯ

В. І. Авраменко, В.О. Стросва

Дніпровський державний технічний університет

Розглянемо куб з стороною $2d$, центр якого співпадає з початком координат (рис. 1). Нехай в точці $P(x,y,z)$ знаходиться джерело рівномірно розподілених у просторі променів. Якщо випадковий промінь PQ перетинає грані куба, то відрізок MN променя в середині куба (аналог хорди в сфері) має випадкову довжину h . Методами статистичного моделювання оцінимо розподіл випадкової величини H – довжини випадкового відрізка всередині куба.

Взаємне положення джерела відносно куба може бути довільним, тому розглянуто три більш прості моделі: 1) *модель 1* – полюс розташований на одній з координатних осей, наприклад $P(p,0,0)$; 2) *модель 2* – джерело розташовано на бісектрисі однієї з координатних площин (наприклад, $P(-\frac{p}{\sqrt{2}}, 0, \frac{p}{\sqrt{2}})$),

див. рис. 1); 3) *модель 3* – джерело має однакові за модулем координати $P(\frac{p}{\sqrt{3}}, \frac{p}{\sqrt{3}}, \frac{p}{\sqrt{3}})$.

Для кожної моделі вивчалась залежність розподілу довжини H внутрішніх відрізків випадкових променів від відстані p джерела до центру куба при рівномірному в просторі розподілі променів. Як свідчать графіки, на відміну від законів розподілу хорд в сфері, графіки розподілів в кубі не є монотонними функціями.

Для моделі 1 довжина відрізка $0 < h < 2d \sqrt{1 + 2 \frac{d^2}{(p+d)^2}}$.

При $p \rightarrow \infty$, коли промені можна вважати паралельними, всі значення $h \equiv 2d$, і розподіл вироджується у δ -функцію. На графіках для обмежених значень p (рис. 2) відмічаються два локальних максимуми, другий з яких має місце для $h > 2d$, коли промені досягають протилежних до входу граней куба. Коли $p=d$ (джерело знаходиться в центрі грані кубу) всі значення $h > d$, але

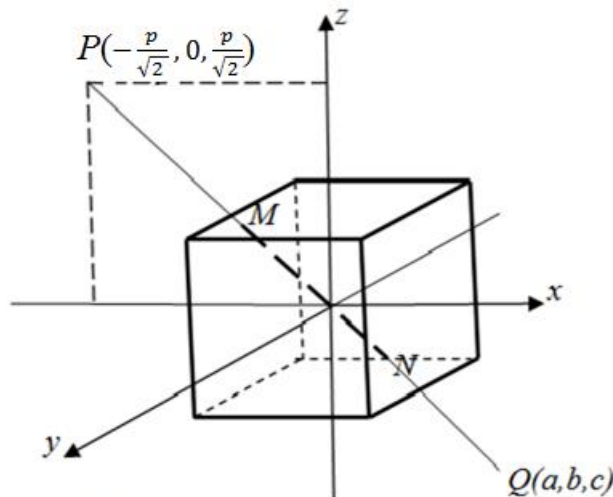


Рисунок 1. Розташування джерела відносно куба (модель 2)

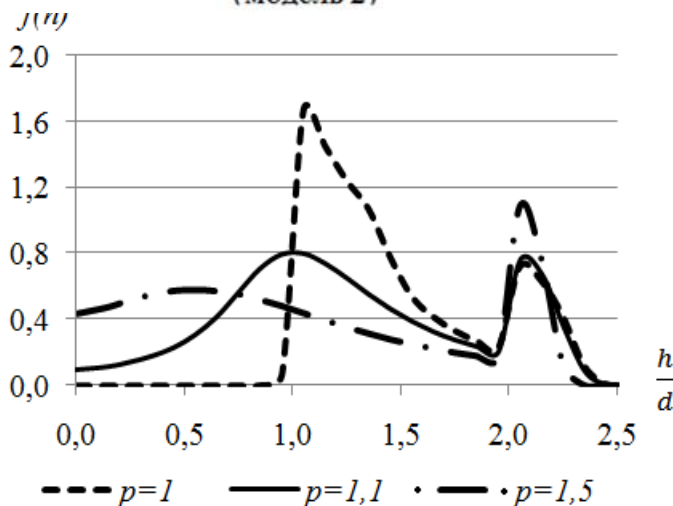


Рисунок 2. Статистичні розподіли довжин моделі 1.
розподіл залишається двомодальним.

Обчислено, що середнє значення довжини відрізка в кубі, як статистична оцінка

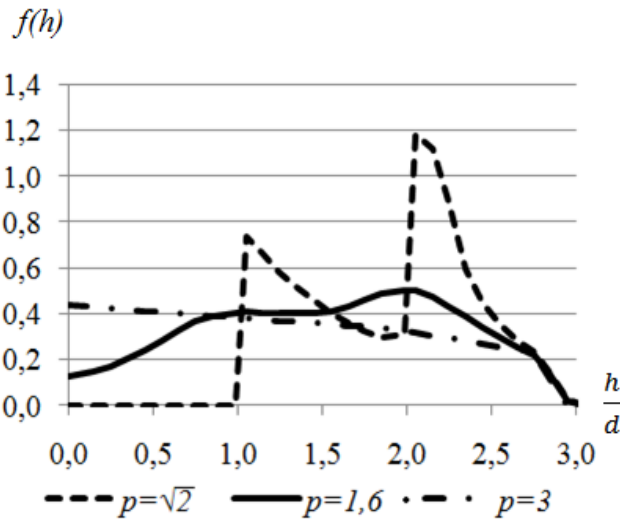


Рисунок 3. Статистичні розподіли довжин h моделі 2.

математичного сподівання випадкової величини H , нелінійно міняється від $\bar{H} = 2d$ при $p \rightarrow \infty$, до $\bar{H} \cong 1,17d$ при $p = d$, маючи мінімум $\bar{H} \cong 1,00d$ при $p = 2,00d$.

Для моделі 2 (рис. 3) можливі значення довжин h

$$0 < h < 2d\sqrt{2} \sqrt{1 + \frac{d^2}{(p+d\sqrt{2})^2}}, \text{ і для}$$

$p \rightarrow \infty$ розподіл стає рівномірним з щільністю

$$f(h) = \frac{\sqrt{2}}{4d} \text{ при } 0 < h < 2d\sqrt{2}.$$

Коли $p = d\sqrt{2}$ (джерело

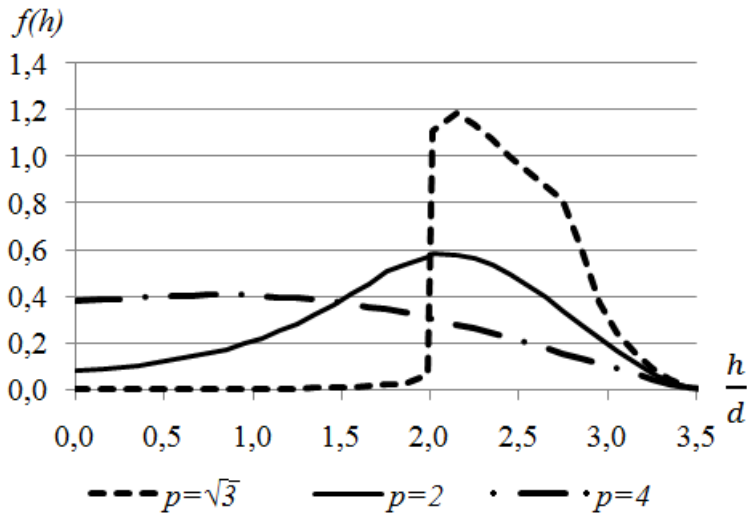


Рисунок 4. Статистичні розподіли довжин h моделі 3

знаходиться посередині бокового ребра кубу) всі значення довжини $h > d$ і має місце двомодальний розподіл.

Середні значення також нелінійно змінюються від $\bar{H} \cong 1,83$ при $p = d\sqrt{2}$ до $\bar{H} = d\sqrt{2}$ при $p \rightarrow \infty$, маючи мінімум $\bar{H} \cong 1,28d$ при $p = 2,00d$.

Для моделі 3 можливі значення довжини h належать інтервалу $(0, 2d\sqrt{3})$ (рис. 4).

Для віддаленого джерела (при $p \rightarrow \infty$) розподіл є лінійним і виражається формулою

$$f(h) = \frac{1}{d\sqrt{3}} - \frac{1}{6d^2} h$$

при $0 < h < 2d\sqrt{3}$.

Для кінцевих значень p розподіли довжин h одномодальні. У випадку $p = d\sqrt{3}$, коли джерело знаходиться і одній з вершин кубу, всі значення h більше $2d$.

Середні значення довжини відрізків h для моделі 3 монотонно зменшуються від $\bar{H} \cong 2,38d$ при $p = \sqrt{3}d$ до $\bar{H} = \frac{2d\sqrt{3}}{3} \approx 1,154d$ при

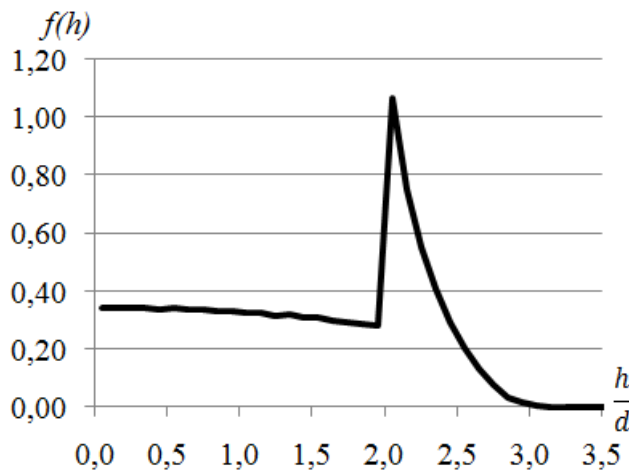


Рисунок 5. Статистичний розподіл довжини h у рівномірному полі випромінювання

$p \rightarrow \infty$.

Окремо слід розглянути випадок, коли куб знаходиться в ізометричному рівномірному полі випромінювання, тобто велика кількість джерел знаходиться в будь якій точці простору відносно кубу. На рис. 5 наведено графік статистичної щільності розподілу. Значення довжин h відрізків в середині куба належать інтервалу $(0, 2d\sqrt{3})$ і розподіл є далеким від рівномірного та симетричного. Можна вважати цей розподіл суперпозицією трьох розглянутих вище моделей. Середнє значення довжини випадкового відрізка в кубі оцінюється величиною $\bar{H} \cong 1,42d$.

ДО ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ДИНАМІЧНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З НАБОРОМ ПОВЗДОВЖНЬО - ПОПЕРЕЧНИХ РЕБЕР

¹В.Ф. Мейш, ²Ю.А. Мейш

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

²*Національний транспортний університет*

Задачам динамічної поведінки оболонкових конструкцій при різних видах навантаження присвячена значна кількість публікацій (статті, оглядові роботи, монографії) [1]. Виходячи із приведених робіт видно, що практично всі динамічні задачі розв'язувалися для випадку гладких оболонок канонічної форми (циліндричні, сферичні, конічні оболонки) в ортогональній системі координат. Більш складними є задачі динамічної поведінки неоднорідних оболонок, зокрема циліндричних оболонок з набором підкріплюючих елементів (повздовжні та поперечні ребра). При цьому враховується дискретність розміщення підкріплюючих елементів. Виходячи з фізичної постановки задачі формулюється відповідна математична модель, тобто приводяться рівняння коливань підкріпленої циліндричної оболонки з врахуванням дискретності розміщення ребер. Покладається, що для опису напружено – деформованого стану вихідної конструкції використовується варіант теорії оболонок та стержнів типу Тимошенка [1]. Для виводу рівнянь коливань застосовується варіаційний принцип Гамільтона - Остроградського [1]. В зв'язку з тим, що враховується дискретність розміщення ребер, ускладнюється математична постановка вихідної задачі. Тобто, постановка задачі складається із двох частин. Перша з яких являє собою рівняння коливань, що відповідають за динамічну поведінку гладкої циліндричної оболонки, а друга – рівняння коливань підкріплюючих ребер [1]. Вказані системи рівнянь доповнюються умовами контакту оболонка – підкріплюючий елемент згідно відповідних кінематичних співвідношень [1].

Для побудови чисельного алгоритму розв'язку динамічних неоднорідних рівнянь використовується інтегро – інтерполяційний підхід побудови скінечно – різницевої схем по просторовим координатам та явній різницевій апроксимації по часовій координаті [1]. Будеться алгоритм розв'язку динамічної поведінки гладкої оболонки та відповідний алгоритм для динамічної поведінки повздовжніх і поперечних ребер.

Як числовий приклад розглядалася задача про вимушені коливання повздовжньо - поперечно підкріпленої циліндричної оболонки при дії внутрішнього розподіленого імпульсного навантаження. Проведено аналіз отриманих чисельних результатів, закономірностей та механічних ефектів, характерних для хвильових

процесів в дискретно підкреплених неоднорідних циліндричних оболонках при нестационарних навантаженнях. Для побудови графічних залежностей отриманих результатів використовувалася математична комп'ютерна система MatLab [2].

Література

1. Головки К.Г., Луговой П.З., Мейш В.Ф. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / под ред. акад. НАН Украины А.Н. Гузя. – К.: Изд. – полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
2. Стеблянюк П.О., Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. Математичне моделювання технологічних процесів. Навчальний посібник для магістрів та студентів інженерно – технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. – 397 с.

КРИТИЧНІ СТАНИ ЖОРСТКИХ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК, ПРУЖНО ЗВ'ЯЗАНИХ З ПЛАТФОРМОЮ

І.І. Соловйов¹, С.М. Худолій¹, В.І. Соловйов²

¹Національний транспортний університет, м. Київ

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

Конструкції роторів турбінних установок сучасних транспортних засобів, як правило, включають тонкостінні пружні тіла. У випадках зміни просторової орієнтації осі обертання ротора, наприклад, при маневруванні літака або корабля, елементи цих тіл знаходяться у стані складного руху, що включає два види обертань (основне і поворотне) і пружні коливання. Гіроскопічні взаємодії між цими видами рухів призводять до виникнення сил інерції дуже складної структури, під дією яких у пружному тілі породжуються поля додаткових статичних і динамічних напружень. Проте особливу небезпеку для пружних тіл можуть мати критичні стани обертання, пов'язані з втратою стійкості їхньої пружної рівноваги або переходом у режим резонансних прецесійних коливань. Для встановлення загальних закономірностей появи критичних станів доцільно розглянути особливості статичної і динамічної поведінки еквівалентних твердих тіл. З цією метою проведено аналіз власних коливань і стійкості жорстких оболонок пружно або жорстко з'єднаних з носієм, який обертається. Вивчено випадки їх простого і складного обертань.

Розглянемо обумовлені кутами α і β малі вільні коливання і стійкість рівноваги тіла в системі координат зв'язаною з основою. Одержимо рівняння вільних коливань тіла в обертовій системі координат

$$\begin{aligned} I_x \ddot{\alpha} - 2\omega(I_0 - I_z)\dot{\beta} + [\omega^2(I_z - I_x) + k] \alpha &= 0, \\ I_x \ddot{\beta} + 2\omega(I_0 - I_z)\dot{\alpha} + [\omega^2(I_z - I_x) + k] \beta &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

I_x, I_z – відповідні осьові моменти інерції тіла; I_0 – полярний момент інерції.

Стійкість стану динамічної рівноваги полягає в позитивності коефіцієнтів $[\omega^2(I_z - I_x) + k]$ при α і β . Тоді критичне значення кутової швидкості дорівнює

$$\omega_{кр} = \pm \sqrt{-k/(I_z - I_x)} \quad (2)$$

Особливість вільних коливань, що описуються рівняннями (1), пов'язана з наявністю в них гіроскопічних членів. Тому вони допускають розв'язок у формі прецесійних рухів $\alpha = A \sin ct$, $\beta = B \cos ct$, $A = \pm B$. Тоді

$$c_{1,2} = \pm \omega(I_0 - I_z)/I_x \pm \sqrt{\omega^2(I_0 - I_x)^2/I_x^2 + k/I_x} \quad (3)$$

У випадок складного обертання на тіло буде діяти гіроскопічний момент $\vec{M}^{zip} = I_z \vec{\omega} \times \vec{\omega}_0$. Тоді

$$\begin{aligned} I_x \ddot{\alpha} - 2\omega(I_0 - I_z)\dot{\beta} + [\omega^2(I_z - I_x) + k] \alpha &= -I_z \omega \omega_0 \cos \omega t, \\ I_x \ddot{\beta} + 2\omega(I_0 - I_z)\dot{\alpha} + [\omega^2(I_z - I_x) + k] \beta &= I_z \omega \omega_0 \sin \omega t. \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язок цієї системи має вид

$$\alpha = (-I_z \omega \omega_0 / k) \cos \omega t, \quad \beta = (I_z \omega \omega_0 / k) \sin \omega t \quad (5)$$

При цьому критичні стани рівноваги, або резонансні прецесійні коливання не виникають, оскільки кругова частота ω моментів ніколи не стає рівною власним частотам.

НАЧАЛА ИЗМЕРЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.М. Ильман, В.А. Андрющенко

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Исследования предметных областей не обходится без использования моделирования. В последнее время, в связи с развитием искусственных систем и интеллектуальных технологий, возрастает роль специального инструментария: алгебраического, автоматного, алгоритмического, информационного и других методов моделирования. Разнообразие подходов моделирования предметной области требует в определенной степени решения задачи выбора подходящей модели.

Решить этот вопрос позволяет конструктивная модель, которая обладает свойствами универсальности, развиваемости, настраиваемости на любую предметную область исследований и др. Поэтому эта модель рассматривается в обобщенном категорном аспекте, однако при таком подходе не снимается необходимость в прямых или косвенных количественных оценках свойств, особенностей и других характеристик конструктивной модели и ее объектов конструирования.

Материалы наших исследований дают возможности применения количественных оценок к разработанной предметной конструктивной модели (ПКМ) в целом и к ее построенным конструкциям. Спектр количественных оценок конструктивной модели весьма разнообразен, хотя бы исходя из того, что, как показано в докладе, алгоритмическая, информационная и нечеткие модели структурно эквивалентны модели ПКМ и потому весь арсенал алгоритмических, информационных, нечетких оценок присущ и рассматриваемой модели предметных конструктивных категорий. Кроме того установлено, что конструктивные оценки во многих случаях определяют комплексный характер измерений. Выявлено, что показатели количественных оценок модели возможны только для закрытых моделей и так как рассматриваемая конструктивная модель является такой, то введенные количественные оценки являются оправданными.

В категорной конструктивной модели предложен единый подход оценивания ее системности, структуры, объемов наборов компонент, их связей и других составляющих. Идея подхода основана на том, что любое измерение выполняется по единой процедуре «что измеряем и как измеряем». И этот подход реализован конструктивной измерительной структурой, позволяющей формировать измерительную метрику.

Оценка формирования конструкций в работе выполняется в статическом и динамическом аспектах. Так как конструирование категорных наборов (совокупностей) в модели формирует содержательные наборы и наборы форм действий и эти наборы образуют атрибутивно согласованные конструкции, то в работе вводится согласованное измерение, частным случаем которого является фрактальное измерение.

Так как в литературе окончательное толкование фрактала не получено, то в работе сделана попытка с позиции конструктивной модели дать его определение. Показано, что измерение конструкции зависит от исполнителей действий конструктивной модели и может иметь как не согласованное по определенному показателю значение, так и согласованное. По этому показателю конструктивная модель может формировать сложные категорные конструкции.

Статически формируемые конструктивной моделью категорные наборы могут иметь сложную логически связанную структуру – это векторы, таблицы, графы, базы данных, базы знаний и др. категории, которые также требуют измерений.

Рассмотренная методология оценивания формируемых конструкций может быть использована для оценки процессов конструктивной декомпозиции на пути: «от заданного объекта – к базисному носителю конструктивной модели».

Содержательно в работе рассматривается важный для исследований вопрос системности конструктивной модели. Проводимые, в дальнейшем исследования структуры и функциональных связей модели показали, что фрактал является геометрической подмоделью модели ПКМ. Предложена единообразная методология измерения сложности модели, ее структуры, функциональных связей и конструктивной категории (конкат), на основе вводимой измерительной структуры. Для измерений конката предложен согласованный с реальностью показатель его сложности. Рассмотрены примеры определения конкаты рекурсивных вычислений.

В результате наших исследований конструктивный инструментальный представляется конструктивной системой такой, что:

- 1) данная система состоит из структуры и функциональной модели;
- 2) структура включает 4 компонента: 2 носителя (предметный и носитель действия), исчисление и класс исполнителей;
- 3) функциональная модель предназначена для организации порождения предметных категорий и выполнения управляющих функций.

Разработана методика, которая с информативной точки зрения позволяет оценить составные компоненты структуры конструктивной системы. Методика предполагает построение измерительной структуры, в пределах которой и выполняются необходимые измерения. Определение параметров функциональной модели в исследованиях выполнены с учетом классической метрики графовых измерений.

Конструктивная система позволяет организовывать рекурсивные процессы порождения категорий. Установлено, что рекурсивный класс является подклассом рекурсивно вычислимых функций.

Установлено, что конструктивные рекурсии могут порождать как категории в малом (то есть декомпозицию в микромир, как во фрактальной теории), так и категории в большом (то есть построение «охватывающих конструкций»).

В результате исследований показано, что показатель конкаты для рекурсии в малом есть переменная величина, стремящаяся в пределе к определенному значению, существенно меньшему единицы. Рекурсивное конструирование в большом определяет постоянный показатель предконкаты, и поэтому конструирование в большом не представляет интереса для исследования.

Рассмотрены типичные примеры конструирования фрактальных категорий и установлены параметры конструирования, от которых зависит показатель конкаты.

Установлено, что значения фрактальных показателей существенно отличаются от значений показателей конкаты.

Рассмотрены примеры из теории алгоритмов, в частности наиболее распространенные алгоритмы сортировки.

Также рассмотрены алгоритмы построения семейств деревьев неограниченной глубины и рекурсивно растущего числа дуг и рассчитаны показатели конкаты для таких категорий.

УПРАВЛЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННЫМИ РЕШЕНИЯМИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

С.Г.Дронов

Днепропетровский государственный технический университет

Для краевой задачи

$$y'' + p(x)y' + q(x)y = f(x) \quad ,$$

$$\alpha y(a) + \beta y'(a) = A, \quad \mu y(b) + \eta y'(b) = B$$

построена схема, позволяющая находить приближенное решение в виде кубического сплайна по неравномерному разбиению, асимптотически совпадающего с интерполяционным сплайном от точного решения, т.е. имеющую отклонение от точного решения на величину $O(h^4)$. В работе построена схема повышенной точности, дающая приближенное решение в виде кубического сплайна, асимптотически совпадающего с интерполяционным сплайном от точного решения, т.е. имеющую отклонение от точного решения на величину $O(h^4)$. Отличием от предыдущих схем является то, что для краевой задачи с разрывными коэффициентами задается «управление», которое позволяет решить краевую задачу с заданной точностью.

В основу исследований положены те же идеи, что и в работах [1] - [4].

Литература

1. Дронов С.Г., Лигун А.А. Об одном сплайн-методе решения краевой задачи// УМЖ. 1989.Т.41, № 5. С. 703 – 707.
2. Дронов С.Г. Применение сплайнов по неравномерной сетке к приближенному решению краевых задач// Вопросы оптимальной аппроксимации функций и суммирования рядов. Днепропетровск: ДГУ, 1988. С. 26 – 32.
3. Дронов С.Г., Худая Ж.В. О сплайн-схеме повышенной точности решения задачи Коши для уравнения с разрывными коэффициентами// Математическое моделирование, Днепропетровск, ДГТУ, 1994, №1, С.17-20.
4. Дронов С.Г. Сплайн-метод приближенного развязку дифференциальных уравнений с разрывными коэффициентами//Математичне моделювання, Кам'янське, №1(34), 2016.- С.42 – 44.

СУПЕРПОТЕНЦІАЛЬНА ФОРМА ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

С.Є Самохвалов, А.А.Грищенко

Дніпровський державний технічний університет

В доповіді з використанням тотожностей Е.Ньотер рівняння Ейнштейна подано у вигляді, подібному до вигляду динамічних рівнянь Максвелла [1].

В ЗТВ використовуються голономні системи відліку, для яких $F_{\mu\nu}^m = \partial_\nu h_\mu^m - \partial_\mu h_\nu^m = 0$, отже існують такі функції $y^m(x)$, що $h_\mu^m = \partial_\mu y^m$, $h = \partial y$. Величини y^m , що задають голономні системи відліку, грають роль лагранжевих координат, на відміну від координат x^μ у просторі-часі, які нумерують його точки і грають роль ейлерових координат. Отже функції $y^m(x)$ є скалярами: $y'^m(x') = y^m(x)$, що, власне, і дозволяє їх інтерпретувати, як лагранжеві координати гравітуючої системи. Репери голономних систем є координатними реперами ∂_m координат y^m .

Коефіцієнти зв'язності $\Gamma_{mkn}^{\cdot}$ є символами Крістофеля в лагранжевих координатах y^m , отже ведуть себе як скаляри при перетвореннях ейлерових координат x^μ . Це забезпечує калібрувальну трансляційну інваріантність розбиття лагранжіана Гілберта на об'ємну і поверхневу компоненти $L_R = L_\Gamma - \partial_\sigma V_\Gamma^\sigma$, де $L_\Gamma = \Sigma_m^{\mu\nu n} \Gamma_{\mu s}^m \Gamma_{\nu n}^s$, $V_\Gamma^\sigma = \Sigma_m^{\sigma\nu n} \Gamma_{\nu n}^m$.

Індукція гравітаційного поля в голономних системах відліку конкретизується наступним чином:

$$B_m^{\sigma\mu} = \partial y l \partial_m x^\lambda (\Gamma_{\lambda \cdot}^{[\sigma\mu]} + \delta_\lambda^\sigma \Gamma_{n \cdot}^{[\mu n]} - \delta_\lambda^\mu \Gamma_{n \cdot}^{[\sigma n]}),$$

а тензорна густина енергії-імпульсу, як

$$t_m^\sigma = \partial y l (-\Gamma_{sn}^\sigma \Gamma_{m \cdot}^{sn} + \Gamma_{pn}^p \Gamma_{m \cdot}^{[\sigma n]} + \Gamma_{n \cdot}^{[\sigma n]} \Gamma_{pm}^p - \partial_m x^\sigma \Gamma_{ps}^{[p} \Gamma_{n \cdot}^{s|n]}),$$

з якими рівняння Ейнштейна можуть бути записані в суперпотенціальній формі

$$\partial_\sigma B_m^{\mu\sigma} = -T_m^\mu,$$

подібній до форми динамічних рівнянь Максвелла, де $T_m^\mu = t_m^\mu + \tau_m^\mu$ - сумарна тензорна густина енергії-імпульсу гравітаційного поля і гравітуючої матерії.

Оскільки голономні системи відліку повністю визначаються функціями y^m , саме їх можна вибрати в якості незалежних польових змінних замість $h_\mu^m = \partial_\mu y^m$. Лагранжіан L_Γ не залежить від самих функції y^m , а лише від їх похідних, отже поля y^m є циклічними координатами системи і рівняння руху для них зводяться до умови збереження відповідного узагальненого імпульсу, який, з точністю до знака, співпадає з тензорною густиною енергії-імпульсу гравітуючої системи: $\partial_\sigma T_m^\sigma = 0$.

Література

1. Самохвалов С.Є Кінематичне перенормування енергії в теорії гравітації. Зб. наук. праць ДДТУ (техн. науки). - 2018. - вип.2(33). - с.71-76.

ЗВ'ЯЗАНА ЗАДАЧА ПРО ДЕФОРМАЦІЮ ПОРОЖНИСТОЇ КУЛІ ПІД ДІЄЮ ТИСКУ

С.О. Плащенко, В.І. Кузьменко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Розглядається взаємовплив деформування порожнистої кулі і тиску газу всередині неї. Унаслідок деформування збільшується об'єм порожнини, що призводить до зміни тиску. З іншого боку, зміна тиску призводить до зміни деформації. Тому задача є зв'язаною. Матеріал кулі вважається нелінійно-пружним, а газ ідеальним.

Введемо оператор Q_1 , який ставить заданому об'єму V порожнини ставить у відповідність тиск p згідно із співвідношенням:

$$p = Q_1 V \quad (1)$$

Зауважимо, що під дією тиску p куля деформується і об'єм порожнини зростає до величини V . Введемо оператор Q_2 , який тиску газу p ставить у відповідність об'єм порожнини у деформованій кулі:

$$V = Q_2 p \quad (2)$$

Виключаємо з (1) і (2) p , отримуємо таке операторне рівняння відносно об'єму порожнини:

$$Q_1 V = Q_2^{-1} V \quad (3)$$

Позначимо через α та β безрозмірні величини

$$\alpha = \frac{a}{A}; \quad \beta = \frac{b}{B}.$$

де a та b – радіуси внутрішньої та зовнішньої поверхонь кулі у недеформованому стані, а A та B у деформованому стані.

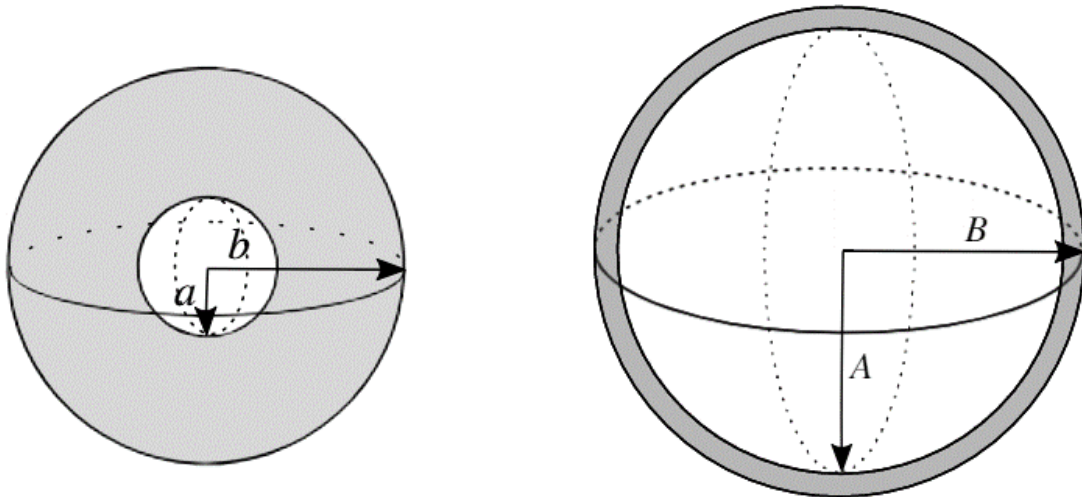


Рис. 1 Сфера в недеформованому та деформованому станах.

Запишемо реалізацію оператора Q_1 . Стан газу описується рівнянням Менделєєва-Клайперона:

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \quad (4)$$

де p – тиск газу, V – об'єм газу, T – термодинамічна температура, m – маса газу, R – універсальна газова стала, μ – молярна маса газу.

Об'єм порожнини можна обчислити наступним чином:

$$V = \frac{4}{3}\pi A^3 = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{a}{\alpha}\right)^3$$

Тоді з (1) маємо:

$$p(\alpha) = \frac{3}{4} \frac{m}{\pi\mu} \left(\frac{\alpha}{a}\right)^3 RT \quad (5)$$

Реалізація оберненого оператора Q_2^{-1} ґрунтується на розв'язку задачі Ляме про дію внутрішнього тиску на порожнисту кулю з нелінійно-пружного нестисливого матеріалу у формі поданій у монографії[1]:

$$p(\alpha) = 4(\beta - \alpha) \left(C_1 + \frac{1}{4} C_1 (\alpha + \beta) (\alpha^2 + \beta^2) + \frac{1}{2} C_2 (\alpha + \beta) + \frac{C_2}{\alpha\beta} \right) \quad (6)$$

Прирівнюючи (5) та (6) отримуємо рівняння відносно α :

$$\frac{3}{4} \frac{m}{\pi\mu} \left(\frac{\alpha}{a}\right)^3 RT = 4(\beta - \alpha) \left(C_1 + \frac{1}{4} C_1 (\alpha + \beta) (\alpha^2 + \beta^2) + \frac{1}{2} C_2 (\alpha + \beta) + \frac{C_2}{\alpha\beta} \right) \quad (6)$$

де C_1 , C_2 – параметри матеріалу Муні[2].

Рівняння розв'язується методом ділення навпіл. Проведено аналіз впливу маси газу на зміну деформації стінок та тиску газу.

Література

1. Green A.E. Theoretical elasticity / A.E. Green, W. Zerna. – 2nded. – NY.: Dover Publications, inc., 1992. – 451 p.
2. Лурье А.И. Теория упругости. / А. И. Лурье. - М.: Наука, 1970. – 940с.

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ТИСКУ В РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАКТУ

В.О.Поздєєв, О.В.Мельник

Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського

Визначення неспотвореного профілю імпульсного тиску, який генерується різноманітними імпульсними джерелами, має важливу інформацію для удосконалення існуючих імпульсних технологій. Відомо, що показання більшості датчиків імпульсного тиску при характерному часі в межах кількох мікросекунд супроводжується значними похибками результатів. Дослідження в даному часовому діапазоні неможливі без зниження систематичних похибок при вимірюванні імпульсних тисків. Одна з основних проблем вимірювальної апаратури полягає в підвищенні точності вимірювання імпульсних тисків. При цьому якщо зменшення випадкових похибок вимірювання досягається збільшенням їхньої кількості і подальшою статистичною обробкою даних, то задача зниження систематичних похибок є набагато складнішою.

При математичному моделюванні вимірювального тракту найбільшу складність представляє опис гідродинамічного і деформаційного елементів. У разі складної і асиметричної форми датчика аналітичний опис дифракції на його поверхні і розповсюдження пружних коливань в його тілі наштовхується на істотні математичні труднощі. Актуальність роботи обумовлено широким застосуванням імпульсних джерел в промисловості, а математичні методи відновлення неспотвореного профілю тиску за результатами вимірювань можна використовувати в системах моніторингу швидкоплинних процесів, наприклад в розрядноімпульсних технологіях [1].

Зусиллями багатьох авторів розроблено ряд методів вимірювань імпульсних тисків, створено численні конструкції датчиків [2-4]. Характерні особливості таких вимірів полягають в тому, що датчик, показує не істинний профіль збурення, а власне перетворення імпульсного тиску. Це пов'язано з тим, що як матеріальне тіло, датчик має деяку інерційність, тому миттєво не реагує на зміни зовнішнього впливу, і після припинення впливу також не може миттєво повернутися до початкового стану. Таким чином, показання датчика спотворено перехідними процесами. Крім того, при електророзряді в рідині вимірювання в безпосередній близькості від плазмового каналу ускладнюються як тією обставиною, що тиски перевищують межу міцності керамічних матеріалів і природних п'єзокристалів, так і високим рівнем електромагнітного впливу [3, 4]. Для усунення систематичних похибок імпульсних гідродинамічних вимірювань можна удосконалювати апаратуру і методику вимірювання, або на базі математичної моделі вимірювального тракту обробляти експериментальні дані. Найбільш доцільним представляється побудова математичної моделі вимірювального тракту, аналітичний опис процесів вимірювання і подальше усунення систематичних похибок шляхом математичної обробки даних. Така обробка може здійснюватися в режимі реального часу у складі вимірювального комплексу, що дозволить якісно вдосконалити вимірювальну апаратуру.

Роботу присвячено розробці математичної моделі вимірювального тракту для визначення тиску у вільному полі рідких середовищ, що дасть можливість усунення похибок результатів вимірів при подальшій обробці даних. В цьому плані сферичний датчик є найбільш простим об'єктом моделювання, і поєднання метрологічних достоїнств з можливістю аналітичного опису датчика слід вважати його істотною перевагою. Гідродинамічний і деформаційний елементи тракту доцільно розглядати в рамках однієї крайової задачі, яка допускає два підходи. Можна скористатися результатами аналізу дифракції на абсолютно твердій сфері, отримати тиск на її поверхні, прийняти його в якості граничної умови внутрішньої задачі і потім розглянути внутрішню задачу. Однак при такому підході відсутній будь-який механізм загасання внутрішніх коливань. Тому при зазначеному підході розв'язок може мати характер наростаючих коливань, які в дійсності відсутні. Введення дисипативних втрат не вважається коректним, оскільки механічна добротність кераміки досить висока. Основним механізмом витоку енергії слід вважати випромінювання хвиль в рідину за рахунок коливань поверхні. Таким чином, необхідно розглянути спільно внутрішню і зовнішню задачі, поєднуючи розв'язок на межі.

Розглянута дифракційна задача має своєю кінцевою метою отримання передавальних функцій датчиків тиску. Отримання спільного розв'язку поставленої дифракційної задачі у вигляді нескінченного ряду пов'язано з надзвичайно громіздкими викладами. Але для отримання передавальної функції вимірювального тракту необхідний лише нульовий член розкладів.

Зауважимо, що в ряді випадків, коли імпеданс ядра датчика значно перевищує імпеданс рідини, а товщина п'єзокерамічної оболонки мала в порівнянні з радіусом датчика, для опису останнього можливо використовувати модель абсолютно твердого

тіла. В цьому випадку із структурної схеми тракту виключається деформаційний елемент. Тоді подальший аналіз доцільно проводити спочатку для більш простої моделі абсолютно жорсткого датчика.

В даний час спостерігається тенденція до підвищення вхідного опору реєструючих приладів. При цьому спотворення від перехідних процесів у вимірювальному ланцюзі, стають малими та їхніми значеннями можна знехтувати. Нарешті, можна отримати зв'язок напруги на вході реєструючого приладу з профілем падаючої хвилі для випадку, коли вимірювання проводяться сферичним п'єзокерамічним датчиком з урахуванням хвильових процесів, що відбуваються в ньому.

На базі проведеного аналізу характерних особливостей імпульсних гідродинамічних вимірювань розроблено математичну модель вимірювального тракту для визначення неспотвореного профілю імпульсного тиску у вільному полі рідкого середовища. Застосування розробленої моделі та дотримання наведених рекомендацій забезпечить стабільність і достовірність показань реєструючої апаратури в складі інформаційно-вимірювальних комплексів з моніторингу швидкоплинних процесів в імпульсних технологіях.

Література

1. Гулый Г.А. Основы разрядноимпульсных технологий // Г.А. Гулый - К.: Наукова думка, 1990. - 208 с.
2. Шарапов В.М. Датчики: справочное пособие // В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
3. Суркаев А.Л. Исследование импульсного волнового пьезодатчика давления [Текст] / А.Л. Суркаев, В.Г. Кульков // Акустический журнал. – 2006. – т.52, №2. – С.264–268.
4. Жекул В.Г. Пьезоэлектрический волноводный датчик для измерения импульсного давления в замкнутых объемах жидкости при высоковольтном электрическом разряде [Текст] / В.Г. Жекул, А.П. Смирнов, Э.И. Тафтай [и др.] // Електротехніка і Електромеханіка. – 2017. – №5. – С.31–35.

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЧОТИРИКУТНИХ ПЛАСТИН СКЛАДНОЇ ФОРМИ

О.Я. Григоренко¹, М.Ю. Борисенко¹, О.В. Бойчук², Л.Я. Васильєва³

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.*

У різних галузях сучасної техніки пластини різноманітних форм є найбільш поширеними елементами тонкостінних конструкцій. Вивчення динамічної поведінки таких конструкцій при динамічному навантаженні 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 частково. Так в [1] запропоновано підхід, який розширює можливості розв'язування завдань про напружено-деформованого стану чотирикутних пластин складної форми на основі застосування методу сплайн-колокації і дискретної ортогоналізації.

Метою цього повідомлення є визначення за допомогою методу скінченних елементів реалізованого на ліцензійному програмному комплексі Femap з розв'язувачем NX Nastran [2] частот та форм вільних коливань ізотропної жорстко закріпленої чотирикутної пластини складної форми та порівняння перших десяти частот з частотами квадратної пластини еквівалентної маси.

В якості ізотропного матеріалу обирався алюміній (модуль Юнга $E = 71 ГПа$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,34$, густина $\rho = 2710 \text{ кг/м}^3$). Розміри пластин зазначені на рис. 1.

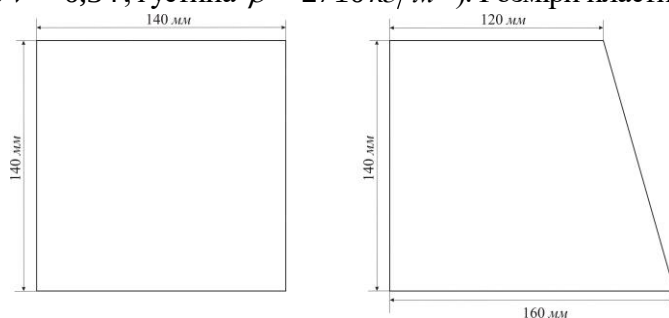


Рис. 1. Досліджувані пластини товщиною $d = 3 \text{ мм}$.

В результаті дослідження отримані частоти (таблиця 1) та форми вільних коливань розглянутих пластин, де ε – відхилення між результатами.

Таблиця 1

Частоти вільних коливань чотирикутних пластин

№	f , Гц		ε , %	№	f , Гц		ε , %
	Квадрат	Трапеція			Квадрат	Трапеція	
1	1373,1	1393,0	1,45	6	4997,0	5047,4	1,01
2	2789,2	2722,9	2,38	7	6210,5	6022,1	3,03
3	2789,2	2913,3	4,45	8	6210,5	6568,5	5,76
4	4095,7	4111,0	0,37	9	7899,7	7765,5	1,70
5	4971,8	4996,5	0,50	10	7899,7	7912,6	0,20

Література

- 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.
- Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К. НТУУ «КПИ», 2011. – 317с.

ТЕПЛОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГИБКИХ ТОНКОСТЕННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ

В.Г.Карнаухов¹, В.И. Козлов¹, Т.В. Карнаухова²

¹Институт механики им. С.П.Тимошенко НАНУ, ²НТУУ «КПИ»

Тонкостенные пьезоэлементы из композитных материалов на полимерной основе находят широкое применение в различных областях современной техники. Гармоническое во времени электромеханическое нагружение является одним из наиболее распространенных при их эксплуатации. При таком нагружении указанные материалы обладают гистерезисными потерями, приводящими к рассеянию

электромеханической энергии в тепловую. В результате наблюдается повышение температуры пьезоэлемента (температуры диссипативного разогрева), уровень которой зависит от многих факторов: теплофизических свойств материала, граничных условий, величины нагрузки, геометрии тела и др. При достижении температурой диссипативного разогрева точки Кюри работоспособность пьезоэлемента резко ухудшается из-за потери материалом пьезоэффекта. Такой тип потери функциональной способности пьезоэлемента и будем называть тепловым разрушением. При активном управлении колебаниями пластин и оболочек из пассивного (без пьезоэффекта) материала с помощью сенсоров и актуаторов тепловое разрушение указанного типа приводит к невозможности такого управления.

В данной работе представлена математическая постановка задачи о тепловом разрушении гибких слоистых тонкостенных пьезоэлементов при действии на них гармонического во времени электрического нагружения с учетом влияния поперечных сдвигов. Для получения уравнений, описывающих это явление, применяются гипотезы типа С.П.Тимошенко, дополненные предположениями о распределении электрических полевых величин. Считается, что тангенциальными составляющими вектора индукции можно пренебречь по сравнению с нормальной составляющей. В результате принятия этих гипотез получаем упрощенные определяющие уравнения, интегрируя которые по толщине пьезоэлемента находим определяющие уравнения, связывающие силовые факторы с кинематическими. При выводе уравнения энергии используется гипотеза о постоянстве температуры по толщине пьезоэлемента. Уравнения состояния вязкоупругого материала имеют вид интегральных соотношений Вольтера. Универсальные уравнения (уравнения движения, кинематические соотношения, граничные условия) совпадают с известными уравнениями механики тонкостенных элементов. Зависимость электромеханических свойств от температуры не учитывается.

Задача сведена к решению двух отдельных задач: задаче электромеханики и задаче теплопроводности с известным источником тепла, совпадающим с диссипативной функцией. Первая из них сводится к решению сложной нелинейной системы интегро-дифференциальных уравнений в частных производных, а вторая к решению линейного уравнения теплопроводности с известным источником тепла.

В качестве критерия теплового разрушения выступает достижение температурой диссипативного разогрева точки Кюри активного материала. При этом для определения критической нагрузки необходимо сначала решить задачу электромеханики, затем найти диссипативную функцию и решить уравнение теплопроводности с известным источником тепла. Критическая нагрузка находится путем многократного численного решения указанных задач вплоть до достижения температурой точки Кюри. Нагрузка, отвечающая температуре в точке Кюри, и будет критической. Некоторые из указанных задач решены аналитически. Для случая резонансных колебаний методами Бубнова-Галеркина и гармонического баланса получены простые аналитические решения указанных задач электромеханики и теплопроводности. С использованием этих решений получены аналитические выражения для критической электрической нагрузки. Исследовано влияние различных факторов на критическую нагрузку.

ВПЛИВ ФОРМИ, РОЗМІРІВ ТА РОЗТАШУВАННЯ ДЕКОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНАТО-ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ОТВОРАМИ

Е. Л. Гарт, Б. І. Терёхин, О. О. Семенча

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) тонкостінних конструкцій, елементами яких є пластини і оболонки при наявності різного роду концентраторів напружень (отворів, викружок, включень і т.п.), відноситься до однієї з важливих проблем механіки деформівного твердого тіла.

В інженерній практиці до 80% деталей машин руйнуються через статичну міцність при напруженнях набагато менших, ніж σ_e у тих випадках, коли напруження є знакозмінними і змінюються циклічно. На ділянках послаблень, різких переходів, існуючих кутів, надрізів і т.п. циклічна міцність деталей сильно спадає. Тут виникає місцева концентрація напружень, максимум яких може у 2–5 і більше разів перевищувати середній рівень напружень, діючих у перерізі. На ділянках концентрації напружень прискорено виникає розпушення металу, що сприяє утворенню втомних тріщин. Внаслідок цього втомні пошкодження в зонах концентрації напружень випереджають пошкодження на інших ділянках деталі.

Ступінь підвищення напружень залежить, у першу чергу, від виду і форми послаблення. Чим більше перепад перерізів на ділянці переходу і чим різкіше переходи і гостріше підрізи, тим вище місцеве максимальне напруження.

Максимальне напруження і його градієнт залежать від кривини так званих силових ліній (траєкторій передачі навантаження від точки до точки вздовж тіла). При малих відносинах d/b (d – діаметр отвору, b – ширина плоского елемента) концентрація напружень зменшується і при $d=0$ зникає. Зі збільшенням d/b максимальне напруження зростає, але одночасно ще різкіше зростає номінальне напруження в ослабленій ділянці (обернено пропорційно $b-d$), внаслідок чого концентрація напружень, віднесена до номінального напруження в послабленій ділянці, знижується. Концентрацію напружень можна значно зменшити випрямленням силового потоку за рахунок надання отвору еліптичної форми.

Аналогічна картина спостерігається у разі вирізів, розташованих по сторонах плоского елемента, біля яких силові лінії викривляються і згущуються, що викликає стрибок напружень у вирізів. Тут концентрацію напружень можна послабити шляхом додавання вирізам плавних обрисів. Перепад перетинів викликає стрибки напружень внаслідок викривлення силових ліній на ділянках переходу від одного перерізу до іншого. Зменшення видовженості ділянок з різними перетинами дозволяє знизити концентрацію напружень, при цьому доцільно надавати деталям однакові перетини, виконуючи необхідні за конструктивними умовами упори [2, 3].

Одним із дієвих способів зниження концентрації напружень є додавання так званих деконцентраторів напружень – додаткових послаблень (отворів), створюваних поблизу основного концентратора. При цьому важливим є дослідження впливу форми, розмірів і розташування деконцентраторів на НДС елемента конструкції.

Суттєве значення має розташування деконцентраторів. При їх вірному розташуванні відбувається випрямлення силових ліній і виключення з силового потоку ділянок, суміжних з концентратором напружень. Розташування, яке призводить до

збільшення викривлення силових ліній і, отже, викликає додаткову концентрацію напружень, є помилковим.

Явище концентрації напружень, викликане формою, на практиці ускладнюється тією обставиною, що ділянки розташування концентраторів майже завжди бувають послаблені з технологічних причин. У деталей, що піддаються механічній обробці, послаблення на ділянках переходів настає в результаті перерізання волокон, отриманих, наприклад, при попередньої гарячої обробці заготовки тиском. У литих деталей ділянки переходів, як правило, послаблені ливарними дефектами, викликаними порушеннями структури при кристалізації металу і охолодженні виливки. У цих ділянках зазвичай зосереджуються рихлоти, пористість, мікротріщини і виникають внутрішні напруження. У кованих і штампованих деталей ділянки переходів мають знижену міцність внаслідок витяжки металу на цих ділянках.

Вивченню проблеми зниження концентрації напружень присвячені численні публікації, зокрема [2, 3]. Для дослідження взаємовпливу отворів в пружних і пружно-пластичних середовищах ефективним є застосування числових методів, зокрема, методу скінченних елементів і його проекційно-ітераційних модифікацій [1, 4–6].

У даній роботі на основі проведеного комп'ютерного моделювання процесу деформування виконано дослідження НДС тонкостінної однорідної ізотропної циліндричної оболонки з ромбовидними, прямокутними і круговими отворами при різному їх розташуванні і заданому на торцях рівномірному одновісному розтягу. Встановлено залежність зміни коефіцієнта концентрації напружень від форми, розмірів і розташування деконцентраторів. Виявлено найбільш прийнятні конфігурації їх взаємного розташування з точки зору зниження концентрації напружень навколо локальних концентраторів. Проведено порівняння отриманих розв'язків з відповідними результатами для пластин. Побудовано графічні інтерпретації полів інтенсивностей напружень і деформацій в оболонках і пластинах; проведено якісний і кількісний аналіз отриманих результатів. Надано відповідні рекомендації при комп'ютерному моделюванні задач даного класу.

Література

1. Гудрамович В. С., Клименко Д. В., Гарт Э. Л. Влияние вырезов на прочность цилиндрических отсеков ракет-носителей при неупругом деформировании материала // Космічна наука і технологія. – 2017. – Т. 23, № 6. – С. 12–20.
2. Мавлютов Р. Р. Концентрация напряжений в элементах авиационных конструкций. – М.: Наука, 1981. – 141 с.
3. Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наук. думка, 1968. – 888 с.
4. Hudramovich V. S., Hart E. L., Ryabokon' S. A. Elastoplastic deformation of nonhomogeneous plates // Journal of Engineering Mathematics. – 2013. – Vol. 78, № 1. – P. 181–197.
5. Hart E. L., Hudramovich V. S. Projection-iterative schemes for the realization of the finite-element method in problems of deformation of plates with holes and inclusions // Journal of Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 203, No. 1. – P. 55–69.
6. Hart E. L., Hudramovich V. S. Application of the Projection-Iterative Scheme of the Method of Local Variations to Solving Stability Problems for Thin-Walled Shell Structures Under Localized Actions // Strength of Materials. – 2018. – Vol. 50, Issue 6. – P. 852–858

ПРО ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РОЗВ'ЯЗКИ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ МАТЕМАТИЧНІЙ ТЕОРІЇ ТРАНСТРОПНИХ ПЛАСТИН

А. Г. Зеленський

ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”

Побудовані фундаментальні розв'язки визначальної системи диференціальних рівнянь із частинними похідними високого порядку, які виведені на основі варіанта математичної теорії трансверсально-ізотропних пластин довільної сталої товщини при згинальному кососиметричному відносно серединної площини навантаженні [1, 2]. Рівняння отримані з урахуванням перших трьох наближень.

У цьому наближенні фундаментальні розв'язки визначаються з наступної системи дванадцятого порядку:

$$\begin{aligned} \Pi_{11}w_1 + \Pi_{13}w_3 + \Pi_{15}w_5 &= \Pi_{1q}F\delta(x, y); \\ \Pi_{31}w_1 + \Pi_{33}w_3 + \Pi_{35}w_5 &= \Pi_{3q}F\delta(x, y); \\ \Pi_{51}w_1 + \Pi_{53}w_3 + \Pi_{55}w_5 &= \Pi_{5q}F\delta(x, y). \end{aligned} \quad (1)$$

Тут $w_1(x, y), w_3(x, y), w_5(x, y)$ – складові компоненти поперечного переміщення $W(x, y, z)$ в ряді Фур'є-Лежандра за поліномами по поперечній координаті z ; $\delta(x, y)$ – дельта-функція Дірака; F – зосереджена сила, прикладена на початку координат кососиметрично відносно серединної площини; Π_{ij} – диференціальні оператори четвертого порядку, Π_{iq} – другого порядку:

$$\begin{aligned} \Pi_{11} &= \mu_{114}\nabla^4 + \mu_{112}\nabla^2; \quad \Pi_{13} = \mu_{134}\nabla^4 + \mu_{132}\nabla^2 + \mu_{130}; \\ \Pi_{15} &= \mu_{154}\nabla^4 + \mu_{152}\nabla^2 + \mu_{150}; \quad \Pi_{1q} = \mu_{12}\nabla^2 + \mu_{10}; \quad \Pi_{31} = \mu_{314}\nabla^4 + \mu_{312}\nabla^2; \\ \Pi_{33} &= \mu_{334}\nabla^4 + \mu_{332}\nabla^2 + \mu_{330}; \quad \Pi_{35} = \mu_{354}\nabla^4 + \mu_{352}\nabla^2 + \mu_{350}; \quad \Pi_{3q} = \mu_{32}\nabla^2 + \mu_{30}; \quad (2) \\ \Pi_{51} &= \mu_{514}\nabla^4 + \mu_{512}\nabla^2; \quad \Pi_{53} = \mu_{534}\nabla^4 + \mu_{532}\nabla^2 + \mu_{530}; \\ \Pi_{55} &= \mu_{554}\nabla^4 + \mu_{552}\nabla^2 + \mu_{550}; \quad \Pi_{5q} = \mu_{52}\nabla^2 + \mu_{50}, \end{aligned}$$

де ∇^2 – оператор Лапласа; μ з індексами – механіко-геометричні параметри (МГП).

Система (1) отримана певними операторними перетвореннями вихідної системи диференціальних рівнянь рівноваги. Вона описує внутрішній напружено-деформований стан і потенціальний крайовий ефект.

Систему (1) з урахуванням (2) перетворено до трьох неоднорідних диференціальних рівнянь дванадцятого порядку для знаходження фундаментальних розв'язків:

$$D_0 D_0 D_1 D_2 D_3 D_4 \Phi_k(x, y) = a_{k0} D_{k0} F_0 \delta(x, y), \quad (k=1, 3, 5), \quad (3)$$

де

$$D_0 = \nabla^2; D_i = \nabla^2 - s_i; D_{k0} = \nabla^2 - s_{k0},$$

a і s з індексами (тут і надалі) – МГП пластини, $\Phi_k(x, y)$ – шукані функції.

Кожне неоднорідне рівняння (3) зведено операторним методом до інтегрування неоднорідних рівнянь другого і четвертого порядків. Показано, що фундаментальні розв'язки $E_1(x, y)$, $E_3(x, y)$, $E_5(x, y)$ рівнянь (3) зобразяться у такому вигляді:

$$\begin{aligned} E_k(x, y) = & \frac{a_{k0} D_{k0}}{s_1 s_2 s_3 s_4} \left(\frac{s_2 s_3 s_4}{s_1 s_{12} s_{13} s_{14}} (E_{1r} - E_{0r}) + \frac{s_1 s_3 s_4}{s_2 s_{21} s_{23} s_{24}} (E_{2r} - E_{0r}) + \right. \\ & \left. + \frac{s_1 s_2 s_4}{s_3 s_{31} s_{32} s_{34}} (E_{3r} - E_{0r}) + \frac{s_1 s_3 s_4}{s_4 s_{41} s_{42} s_{43}} (E_{4r} - E_{0r}) + E_{00r} \right), \quad (k=1,3,5), \end{aligned} \quad (4)$$

де $E_{0r}(x, y)$ – фундаментальний розв'язок рівняння Пуассона

$$D_0 f_0(x, y) = F \delta(x, y);$$

$E_{00r}(x, y)$ – фундаментальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння четвертого порядку

$$D_0 D_0 f_{00}(x, y) = F \delta(x, y);$$

$E_{ir}(x, y)$ – фундаментальні розв'язки неоднорідних диференціальних рівнянь Гельмгольца

$$D_i f_i(x, y) = F \delta(x, y), \quad (i=1, 2).$$

Із системи (1) фундаментальні розв'язки $w_{1E}(x, y)$, $w_{3E}(x, y)$ і $w_{5E}(x, y)$ знайдуться з урахуванням (4) із таких залежностей:

$$w_{kE}(x, y) = \Pi_{1k}^0 E_1 + \Pi_{3k}^0 E_3 + \Pi_{5k}^0 E_5,$$

де Π_{ij}^0 – ад'юнкти (восьмого порядку) диференціального визначника системи (1).

Література

1. Зеленський А. Г. Метод взаємозв'язаних рівнянь в аналітичній теорії транстропних пластин із урахуванням вищих наближень / А. Г. Зеленський, П. А. Серебрянська // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Механіка. – 2007. – № 2/2. В. 11, т.2. – С. 84-94.
2. Зеленський А. Г. Моделі аналітичної теорії трансверсально-ізотропних плит / А. Г. Зеленський // Вісник Дніпропетр. ун-ту. – Т. 17, № 5. – 2009. – Механіка. В. 13, т. 2. – С. 54 – 62.

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СТРАТЕГІЙ ТА ТАКТИК РОЗВ'ЯЗАННЯ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР

Є.О. Сугаль, В.О. Стрєва

Дніпровський державний технічний університет

Засобами C++ у середовищі Visual Studio за допомогою SFML (Simpl and Fast Multimedia Library) було розроблено гру «Costle defender». SFML – проста і швидка мультимедіа бібліотека, вільна кроссплатформенна, яка написана на C++, але доступна також і для C, D, Java, Python, Ruby, OCaml, Net і Go та представляє собою об'єктно-орієнтований аналог SDL [1].

SFML містить ряд модулів для простого програмування ігор і мультимедіа додатків, які можна підключати в залежності від необхідності їх у проекті (окрім Graphics та Window). Зокрема, доступні п'ять наступних модулів: System - управління часом і потоками, Window - управління вікнами і взаємодією з користувачем, Graphics - робить простим відображення графічних примітивів і зображень, Audio - надає інтерфейс для управління звуком, Network - призначена для мережових додатків. Для відображення графічної складової гри, необхідно було обрати технологію відображення графіки. У даному випадку розглядалася API на прикладі SFML [2].

До переваг бібліотеки SFML можна віднести:

- наявність ліцензії zlib (png license), що дозволяє її використання у комерційних цілях;
- повністю кроссплатформена (Windows, MacOS X, Linux), незабаром очікується порт на Android та IOS;
- має відкритий вихідний код;
- є бібліотекою як для x64 так і x86 розрядної систем, підтримується різними компіляторами;
- офіційно підтримує мови C і .Net;
- призначена для роботи з мережею (HTTP, FTP, tcp, ip, udp, socks та т.і.); зі звуком (запис, робота зі звуком в 3D, VoIP та т.і.); з графікою (спрайт, текст, примітиви, завантаження графіки та т.і.); з системою (таймери, потоки, рядки, STL та т.і.); з вікнами (на основі OpenGL, є потоковий рендер);
- надає можливість використання клавіатури, миші, джойстиків.

Під час розробки вирішувались питання аналізу та проектування гри, моделювання реальної предметної області, опису функцій, які має виконувати система та безпосередня розробки програмного забезпечення гри [3].

При подальшому удосконаленні програмного продукту ставилася мета побудувати більш гнучкий алгоритм щодо оптимального підбору стратегій ігрових об'єктів (персонажу та ворогів) із застосуванням основних положень теорії ігор [4].

Як відомо, теорія ігор – один з розділів прикладної математики, яка визначається як теорія математичних моделей вибору оптимальних рішень в умовах невизначеності. При цьому тип невизначеності, що досліджується в теорії ігор, характеризується тим, що розглядаються ситуації, результат в яких визначається дією декількох сторін, де

кожна переслідує власні цілі. Розбіжність цілей діючих сторін, а також певні обмеження на обмін інформацією між ними, призводять до того, що ці взаємодії носять конфліктний характер, тому в прикладному аспекті теорія ігор розглядається як наука про раціональну поведінку в умовах конфлікту. Кожна сторона має свою мету та використовує деяку стратегію, що може привести до виграшу або програшу – в залежності від поведінки інших гравців. Теорія ігор дозволяє вибрати кращі стратегії з урахуванням уявлень щодо інших учасників, їх ресурсів та можливих стратегій.

Отже, математичне моделювання стратегій гри, зокрема визначення антагоністичної гри та її розв'язку, відшукування нижньої та верхньої ціни гри, сідлової точки, дозволило удосконалити основний алгоритм програмного продукту, у результаті чого побудована модель стала більш збалансованою та оптимальною.

Література

1. <https://github.com/SFML/SFML>
2. <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3268/>
3. <https://habr.com/ru/post/149071/>
4. Balaioff M., Chuand T., Feldman M. Incentives in peer-to-peer systems// Algorithmic game theory / Ed:N. Nisan et al. – Cambridge Univ.Press, 2007.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПЕРКОЛЯЦІЇ В СИСТЕМІ, ЯКА ЗМІНЮЄТЬСЯ З ЧАСОМ

Є. В. Дерещ, Г. О.Дерещ

Дніпровський державний технічний університет

В загальному розумінні явище перколяції розглядається як стрибкоподібна зміна властивостей матерії при перевищенні певної межі впливу. Найпростіші приклади цього явища – зміна електричних властивостей матеріалу, виникнення гелю при полімеризації, явище просочування рідини крізь пористі структури. Найбільш дослідженими є статичні задачі теорії перколяції, серед яких виділяють задачі вузлів, задачі зв'язків та змішані задачі [1 – 4]. Проте у реальних фізичних явищах процес не є статичним, тому подальшим розвитком перколяційної теорії стало моделювання змінних у часі систем.

В роботі досліджується динамічний перколяційний процес, який моделює руйнування матеріалів під впливом зовнішнього агресивного середовища, яке поєднується із саморуйнуванням матеріалу. Розглядається математична модель, у якій простір і час є дискретними. Джерелом «агресора» є одна із сторін (граней) решітки, агресивне середовище розповсюджується в кожен момент часу від зруйнованих клітин до сусідніх з певною ймовірністю, при цьому цей процес поєднується з випадковим «саморуйнуванням» внутрішніх клітин, що прискорює просування «агресора». Відмінність побудованої моделі від відомих моделей перколяції вторгнення [2 – 4] полягає у наявності динамічного процесу саморуйнування та можливості тимчасової зупинки просування агресора.

Для одновимірного випадку в роботі доведено рекурентні формули для обчислення ймовірності виникнення перколяційного кластера у різні моменти часу,

проведено комп'ютерне моделювання процесу, результати якого співставлено з обчисленням середнього часу пробою на основі отриманих аналітичних залежностей.

Аналітично доведено існування скінченного середнього часу виникнення перколяційного кластера при фіксованих розмірах зразка довільної розмірності та ненульових ймовірностях руйнування.

При комп'ютерному моделюванні процесу на двовимірній та тривимірній решітці застосовується алгоритм Хошена-Копельмана багатократного маркування кластерів [4]. За результатами комп'ютерного експерименту побудовано графіки емпіричної функції надійності і полігону частот, а також середнього часу пробою як функції ймовірності руйнування та розмірів решітки. Розроблена програма дозволяє також проводити комп'ютерне моделювання процесу руйнування при змінних у часі ймовірностях.

Література

1. Кестен Х. Теория просачивания для математиков / Х. Кестен. - Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 392 с.: ил.
2. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы / Ю. Ю. Тарасевич. - М.: Едиториал УРСС, 2002. - 112 с.
3. Гулд Х. Компьютерное моделирование в физике. Часть 2 / Х. Гулд, Я. Тобочник. - М.: Мир, 1990. - 400 с.
4. Stauffer D. Introduction to percolation theory / D. Stauffer, A. Aharony. - London: Taylor & Francis. - 1992. - 124 p.
5. Hoshen J. Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm / J. Hoshen, R. Kopelman // Phys. Rev. B/ - Vol. 14. - N. 8. - P. 3438 - 3445.

ОСОБЛИВОСТІ ІТЕРАЦІЙНОГО РІШЕННЯ НЕЛІНІЙНОГО РІВНЯННЯ МАГНІТОСТАТИКИ

П.С. Смолянський, О.В. Шамрай

Криворізький національний університет

Тільки високоточний масовий обчислювальний експеримент може забезпечити оптимальне проектування прецизійних пристроїв електронної техніки. Це гарантує компактність і мінімальну вагу пристрою, мінімальне енергоспоживання та вартість, з одного боку, і його надійну і стійку роботу, з іншого боку.

Одним з ефективних і поширених способів розрахунку магнітостатичних полів є метод нелінійних інтегральних рівнянь. Але ітераційне рішення таких рівнянь ставить цілий ряд запитань, які стосуються збіжності цього методу та впливу характеру дискретизації на ітераційне рішення.

Далі розглянемо інтегральне рівняння щодо розрахункового вектора U [1]:

$$\bar{U} = 2 \cdot \bar{H}_0 + 2 \cdot \bar{H}_M + \bar{M}, \quad \bar{U}(x) = 2 \cdot \bar{H}_0(x) + \Pi \bar{M}. \quad (1)$$

$\bar{H}_M$ - напруженість поля, створена намагніченністю середовища, $\bar{H}_0(\bar{x})$ - напруженість зовнішнього поля, створена первинними джерелами поля, $\bar{M}$ - вектор намагніченості, далі позначено:

$$\Pi \bar{M} = 2 \cdot \left[\int_G K(x, y) \cdot \bar{M}(y) \cdot dv_y - N_\sigma \cdot \bar{M} \right] + \bar{M}.$$

$K(x,y)$ - симетричний тензор другого рангу з компонентами $K_{ij} = (\alpha_i \cdot \alpha_j - \delta_{ij})/r^m$, де α_i – направляючі косинуси радіус- вектора r , δ_{ij} - символ Кронекера. Для випадку кусково-постійного середовища - $N_0=0$. Саме такий випадок буде розглянуто далі. В цих умовах необхідно знайти розподіл розрахункового вектора U . Для спрощення запису далі будемо розглядати двовимірне поле.

Найбільш універсальним методом рішення нелінійних рівнянь є метод ітерацій. Він може бути застосований, якщо норма оператора рівняння задовольняє умові Ліпшиця з константою q менше одиниці. В [1] доведено, що для оператора ПМ з рівняння (1) норма в просторі $L_2(G)$ менше одиниці. Тобто, теоретично гарантована збіжність методу ітерацій для рівняння (1) з будь-якого початкового наближення.

Практика рішення задач магнітостатики показує, що в більшості випадків процес ітерацій сходиться, але іноді результати розрахунку поля фізично не вірні, особливо при невдалій дискретизації області магнетиків. Також в загальному випадку відсутнє детальне дослідження впливу кривої намагніченості на швидкість і характер збіжності ітераційного процесу.

Проведемо дискретизацію рівняння (1) та отримаємо еквівалентне дискретне рівняння:

$$\bar{M} = 2 \cdot \bar{H}_0 + (E + 2 \cdot A - 2 \cdot D) \bar{M} = 2 \cdot \bar{H}_0 + S \cdot \bar{M}, \quad (2)$$

де A – клітинна матриця, що складається з клітин-тензорів K_{ij} , E – одинична матриця, а D – діагональна матриця з елементами $1/\chi_i$ на головній діагоналі, де $\chi = \mu - 1$ – магнітна сприйнятливості середовища. Ітераційний процес для інтегрального рівняння може бути записаний у більш зручний спосіб:

$$\bar{M}_{n+1} = 2 \cdot \bar{H}_0 + (E + 2 \cdot A - 2 \cdot D_n) \bar{M}_n = 2 \cdot \bar{H}_0 + S_n \cdot \bar{M}_n \quad (3).$$

В нелінійному рівнянні (3) є фактично два ітераційних процеси: щодо вектора намагніченості $\bar{M}_n$ та діагональної матриці D_n , яка характеризує властивості ферромагнітного матеріалу. Величина D_n перераховується по кривій намагнічування матеріалу $B(H)$ після кожної ітерації. Матриця D_n перетворює ітераційний процес (3) в нестационарний та нелінійний, що теоретично ускладнює дослідження збіжності такого процесу. Однак ці ітераційні процеси нерівноцінні: основні труднощі представляє ітераційний процес по вектору $\bar{M}_n$. Як показує обчислювальний експеримент, матриця D_n стабілізується всього за декілька ітерацій і її величина практично не змінюється. А тоді ітераційний процес (3) стає стаціонарним, до нього застосовні всі теореми про збіжність стаціонарних ітераційних процесів. Тому ітераційний процес (3) можна назвати квазістаціонарним. Також важливо помітити, що абсолютна величина елементів матриці D_n для реальних ферромагнетиків мала порівняно з діагональними елементами матриці S_n . Так як норма оператора PM менше одиниці, рівняння (1) повинне мати єдине рішення, процес ітерацій для такого рівняння має бути збіжним. Якби обчислення велися з нескінченним числом розрядів, то дискретизований оператор рівняння (1) був би повним дискретним аналогом неперервного оператора, і теоретично від нього слід очікувати таких же властивостей як і від неперервного рівняння (1). Однак властивості дискретного і неперервного оператора можуть якісно відрізнятися за рахунок похибок округлення в процесі розрахунку, тому потрібно запропонувати алгоритм вирішення дискретного рівняння (3), який би враховував можливість порушення частини властивостей неперервного оператора PM .

Як показує чисельний експеримент, норма матриці дискретного оператора рівняння (3) може бути більше одиниці. Це пов'язано з тим, що обчислення ведуться з скінченим числом розрядів, а матриця дискретного оператора (3) в загальному випадку несиметрична. Відомо, що власні числа таких матриць можуть бути дуже чутливі до

похибок обчислювального процесу. Відповідь про дійсний характер збіжності ітераційного процесу для рівняння (3) зводиться до чисельної оцінки спектрального радіусу матриці S_n .

Таким чином, рішення нелінійного дискретизованого рівняння (3) зводиться до двох незалежних один від одного процесів:

- 1) наближеного знаходження величини матриці D_n для кожного дискретного елемента;
- 2) визначення вектора намагніченості для кожного дискретного елемента.

Пропонований алгоритм рішення рівняння (3) спрощено складається з наступних кроків.

1. Розрахунок матриці D_n .
2. Оцінка норми матриці S_n . Для цього можна використовувати степеневий метод оцінки модуля норми максимального власного значення матриці.
3. Обчислення величини рішення методом ітерації рівняння (3) за умови, що магнітна сприйнятливість вже визначена на кроці 2 і є майже постійною.

Основне значення запропонованого методу полягає в можливості впевненої класифікації якості дискретизації рівняння (1).

Література

1. Толмачев С. Т. Специальные методы решения задач магнитостатики / Станислав Трофимович Толмачев. – Киев: Наукова думка, 1983. – 166 с.

ПРО АЛГЕБРАЇЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОПЕРАТОРІВ КРОСОВЕРУ ТА МУТАЦІЇ В ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМАХ

Л.О. Олійник

Дніпровський державний технічний університет

Основою генетичних алгоритмів є імітація відбору векторів розв'язків з найкращими властивостями, з метою отримати найкращі з можливих значення фітнес-функції ([1]). Імітація селективного відбору виконується за допомогою застосування операторів кросоверу та мутації до елементів області пошуку наближеного розв'язку.

Метою даної роботи є дослідження алгебраїчних властивостей операторів кросоверу та мутації, описання класу матричних операторів, які виконують обмін координатами як між векторами з області пошук так і в середині самих векторів.

В цій роботі побудовано підпростір простору лінійних операторів (блочних матриць), що діють у декартовому добутку евклідового простору $R^n \times R^n$.

$$\text{Розглядаються матриці вигляду } \hat{P}_j^k = \begin{pmatrix} \tilde{P}_j^k & P_j^k \\ P_j^k & \tilde{P}_j^k \end{pmatrix}, \hat{Q}_j^k = \begin{pmatrix} \tilde{Q}_j^k & Q_j^k \\ Q_j^k & \tilde{Q}_j^k \end{pmatrix},$$

$$\text{Де } P_j^k x = P_j^k \left(\sum_{i=1}^n \xi_i e_i \right) = \sum_{i=j}^k \xi_i e_i, Q_j^k x = Q_j^k \left(\sum_{i=1}^n \xi_i e_i \right) = \sum_{i=j}^k \xi_{n-j+1} e_i, \quad \forall x = (\xi_1, \dots, \xi_n).$$

$$\tilde{P}_j^k = I - P_j^k, \tilde{Q}_j^k = J - Q_j^k, \quad I - \text{одинична матриця, } J - \text{одинична інволютивна матриця.}$$

Оператори, породжувані операторними матрицями $\hat{P}_j^k$ є операторами перестановок. Вони є граничними елементами, лінійного опуклого замкненого простору самоспряжених стохастичних лінійних операторів і утворюють унітарну

групу відносно операції множення. Оператори $\hat{P}_j^k$ є унітарними, тобто задовольняють умовам $\hat{P}_j^k = (\hat{P}_j^k)^{-1} = (\hat{P}_j^k)^*$, $\|\hat{P}_j^k\| = 1$ (тут використовується «кубічна норма» ([2])).

Оператори $\hat{P}_j^k$ здійснюють обмін групами координат між векторами, тобто виконують однокомпонентне схрещування (кросовер). Оператори $\hat{Q}_j^k$ здійснюють перестановку координат у кожному з векторів з наступним обміном між векторами. Ця операція об'єднує в собі і кросовер і мутацію.

Серед усіх операторів виділяються так звані оператори одновимірного кросоверу $\hat{P}_j^j$, які обмінюють тільки по одній координаті між векторами $x = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, $y = (\eta_1, \dots, \eta_n) \in R^n$.

Для цих операторів доведено наступне твердження.

Сукупність одновимірних операторів кросоверу утворює базис (відносно операції множення) у підпросторі інволютивних операторів. Тобто: $\hat{P}_j^k = \hat{P}_j^j \dots \hat{P}_k^k$.

Операторам $\hat{P}_j^k, \tilde{P}_j^k$ можна їм бієктивно поставити у відповідність бінарні коди, які складаються за правилом: якщо діагональний елемент дорівнює 1 то, відповідна координата двійкового коду також одиниця, інакше нуль. Отже, існує 2^n операторів кросоверу. Серед цих операторів існує $\frac{n^2 + n - 2}{2}$ операторів класичного кросоверу.

Отже, в цій роботі отримано описання алгебраїчної моделі простору операторів кросоверу та мутації, що використовуються при реалізації генетичних алгоритмів.

Література

1. Кононюк А. Е. К213 Дискретно-непрерывная математика. (Алгоритмы). — В 12-и кн. Кн. 10, Ч.3 — К.: 2017. — 444 с.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1967. — 576 с.

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГЕБРАЇЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ В ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕКСТРЕМУМУ ФУНКЦІЙ ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ

Л.О. Олійник, С.М. Бажан

Дніпровський державний технічний університет

Генетичні алгоритми (англ. *genetic algorithm*) досить широко сьогодні використовуються при розв'язанні великого кола задач оптимізації. Тому актуальним є дослідження теоретичних основ алгоритмів даного класу. Важливою структурною складовою генетичних алгоритмів є процедура рекомбінації елементів області пошуку наближеного розв'язку, яка базується на застосуванні операторів схрещування (кросоверу) та мутації.

В цій роботі автори пропонують алгебраїчний підхід до аналізу властивостей операторів кросоверу та методів їх застосування, і на основі даного підходу алгоритм пошуку наближеного розв'язку задач знаходження глобального мінімуму функцій

однієї змінної. Крім того, згаданий алгоритм реалізовано на алгоритмічній мові c#, за допомогою комп'ютерного додатку Microsoft Visual Studio. Це дало змогу провести апробацію роботи запропонованого алгоритму на класі відомих тестових функцій, які використовуються при оцінці ефективності генетичних алгоритмів.

Нехай $F(x)$ функція визначена на множині $[a,b]$. Необхідно знайти її глобальний мінімум. На відміну від звичайного генетичного алгоритму початкова популяція розв'язків-хромосом складається з двох точок ξ, η відрізка $[a,b]$, які обираються випадково. Ці точки розглядаються як координати вектору $x = \begin{Bmatrix} \xi \\ \eta \end{Bmatrix} \in R^2$. Крім того розглянемо вектори $x_a = \begin{Bmatrix} a \\ \xi \end{Bmatrix} \in R^2$, $x_b = \begin{Bmatrix} \eta \\ b \end{Bmatrix} \in R^2$. Подіємо на ці вектори матрицями вигляду $\begin{pmatrix} \alpha & 1-\alpha \\ 1-\alpha & \alpha \end{pmatrix}$, де α – випадкові числа з відрізка $[0,1]$. Ця операція є аналог кросоверу у класичному розумінні.

Так як норма матриць дорівнює одиниці, то кожний вектор після перетворень матрицями дасть по парі точок в кожній з трьох частин відрізка $[a,b]$.

Для отриманих восьми точок (з урахуванням точок ξ, η) обчислюються значення фітнес функції $F(x)$. Серед значень фітнес функції обираються найменші на кожному з трьох відрізків.

Позначимо ξ_1 , точку в якій фітнес функція має найменше з отриманих трьох значень, а η_1 – , відповідає найменшому значенню фітнес функції на інших двох відрізках. Тоді утворюється новий відрізок $(\xi_1 - \eta_1, \xi_1 + \eta_1)$. Якщо, $\xi_1 - \eta_1 < a$, або $\xi_1 + \eta_1 > b$, то граничними точками нового відрізка обираються граничні точки початкового відрізка.

Для отриманого відрізка процедура рекомбінації нових значень наближень шуканого розв'язку повторюється. Зупинка відбувається при зменшенні довжини відрізка до заздалегідь визначеної величини похибки.

Даний процес є ітеративним з гарантованою збіжністю фундаментальної послідовності наближених значень до шуканого розв'язку. Цей факт впливає з запропонованого алгоритму побудови вкладених відрізків.

Для прикладу наведено результати тестування запропонованого алгоритму на функції Растрігіна ([1]), яка має вигляд $F(x) = 10 + x^2 - 10 \cos(2\pi x)$ на відрізка $[-5,12;5,12]$. Складність задачі полягає у великій кількості локальних мінімальних значень. Але глобальний екстремум один і знаходиться в точці $x = 0$ $F(x) = 0$.

Пошук розв'язку виконувався 5 разів з заданою похибкою 0,0000001, кількість ітерацій складала від 57 до 532. Серед результатів найкращий $x = 0,00002134671629$, $F(x) = 0,00000009040376$, при чому жодного разу алгоритм не обирав хибний локальний екстремум.

Отримані результати свідчать про те, що даний алгоритм є ефективним інструментом для розв'язання задач визначення глобального екстремуму функцій однієї змінної.

Література

1. Кононюк А. Е. К213 Дискретно-непрерывная математика. (Алгоритмы). — В 12-и кн. Кн. 10, Ч.3 — К.: 2017. — 444 с.

ОБ ОДНОМ РАВЕНСТВЕ В ТЕОРИИ ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ

А.Н.Давидчик, И.А.Чуприна

Индустриальный колледж УДХТУ

Пусть C – пространство непрерывных на всей оси 2π – периодических функций $f(t)$ с нормой $\|f\|_C = \|f\|_\infty$;

$\omega(f, t)_{\infty[a, b]} = \sup \{ \|f(t'') - f(t')\| \mid t', t'' \in [a, b], |t' - t''| < t \}$ – модуль непрерывности функции $f \in C[a, b]$;

$\omega(f, t)_p = \sup \{ \|f(\bullet + u) - f(\bullet)\|_p \mid |u| < t \}$ – интегральный модуль непрерывности функции $f \in L_p$;

$$\Delta'_h(f, t) = f\left(t + \frac{h}{2}\right) - f\left(t - \frac{h}{2}\right),$$

$$\Delta_h^r(f, t) = \Delta_h^r(\Delta_h^{r-1}(f, \bullet), t) \quad (r = 2, 8, \dots),$$

$\omega_\kappa(f, t)_p = \sup \left\{ \left\| \Delta_h^{r-1}(f, \bullet) \right\|_p \mid |h| < t \right\}$ – модуль непрерывного κ -го порядка функции f в

метрике пространства L_p ;

Положим

$$\chi_{r, \kappa}(L_n, \delta)_p = \sup_{\left\{ \begin{array}{l} f \in L_p^r \\ f \neq \text{const} \end{array} \right\}} \frac{\|f - L_n(f)\|_p}{\omega_\kappa(f^{(r)}, \delta)_p} = \sup_{f \in W_p^{r, \kappa}(\delta)} \|f - L_n(f)\|_p.$$

Пусть $\varphi(x)$ имеет первую производную удовлетворяющую условию Лип α , при некотором $\alpha > 0$, на отрезке $[0, 1]$ и удовлетворяет следующим требованиям

$$\varphi(x) = \varphi(1-x),$$

$$\varphi(0) = \varphi(1) = 0.$$

Тогда имеет место равенство

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \chi_{0,1}\left(L_n^\varphi, \frac{\pi}{n}\right) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi^2} + \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{1}{x} - \text{ctg} x \right) \frac{dx}{x} + \frac{1}{\pi} + \int_0^1 (1 - \rho(x)) \cdot \frac{\text{ctg} \frac{\pi}{2} x}{x} dx \Delta \chi(L^\varphi),$$

где

$$\rho(x) = \frac{\int_0^{1-x} \varphi(y) \varphi(x+y) dy}{\int_0^1 \varphi^2(z) dz}.$$

РАЗВИТИЕ ПОЛОСЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ ТЕКУЧЕСТИ

Р.Р. Лабибов

Днепровский национальный университет им. Олеса Гончара

В ряде экспериментов показано как развитие полос локализации в теле под действием нагрузки происходит в состоянии текучести [1]. В экспериментальных работах установлено, что полоса локализации распространяется в теле с постоянной скоростью V [2]. В то же время, в моделях пластической деформации не определяется эта скорость и не делаются попытки дать этому процессу физическое объяснение.

В данной работе рассматривается линия скольжения постоянной длины, движущаяся с постоянной скоростью в бесконечном теле. В этой модели принято предположение о том, что сдвиг полосы происходит в вершине и залечивание – на другом конце. Полученное решение показывает особенности, присущие движущимся дислокациям и позволяет дать физическое объяснение происходящим процессам.

Описание модели. Для моделирования механизма развития полос Людерса – Чернова в мягкой стали, которая состоит из феррита с включениями существенно более прочного перлита, рассматривается сдвиг η двух соседних зерен перлита и феррита под действием сдвигающего усилия T . Если принять в зерне феррита модель упругопластического поведения, а в зерне перлита – модель хрупкого разрушения, то можно охарактеризовать зависимость касательного напряжения τ ($\tau = T / \delta$) от деформации сдвига γ ($\gamma = \eta / \delta$) между двумя зернами зависимостью, которая обобщает модель Новожилова [3] образования трещины в упругом теле

$$\tau = G(\gamma / \gamma_C) \exp(-\gamma / \gamma_C) + \tau_0(1 + a\gamma / \gamma_C)[1 - \exp(-\gamma / \gamma_C)], \quad (1)$$

где γ_C – деформация на пределе прочности на сдвиг:

$$\tau_C = G \exp(-1) + \tau_0(1 + a)[1 - \exp(-1)].$$

Первое слагаемое в соотношении (1) отвечает разрушению зерна перлита, а второе – упругопластической деформации феррита.

Выводы. Предложено решение развития линий скольжения в условиях сложного сдвига. Решение построено путём введения в уравнения для стационарной задачи функций специального вида, которые вносят в уравнения состояния параметр времени.

Предложенный подход в перспективе применим к целому ряду задач динамики полос локализации и может быть применён для рассмотрения развития полосы сдвига под действием внешних нагрузок другого характера.

Литература

1. Labibov R.R. Strips of localization of plastic deformation / R.R. Labibov, Yu.A.Chernyakov, A.E. Sheveleva, A.G. Shevchenko // Archive of Applied Mechanics. – 2018. - №88 (12). – pp. 2221-2230. DOI 10.1007/s00419-018-1445-z
2. Лабибов Р.Р. Развитие линии скольжения с постоянной скоростью / Р.Р. Лабибов // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. редкол.: А.П. Дзюба (відп. ред.) та ін. – 2018. – № 28. – С.110-119.
3. Novozhilov V.V. On a necessary and sufficient criterion for brittle strength / V.V. Novozhilov // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 1969. – Vol. 33. – No. 2. – P. 201–210.

РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

С.Г.Дронов, С.А.Дерец

Днепропетровский государственный технический университет

Для краевой задачи

$$y'' + p(x)y' + q(x)y = f(x) \quad , \quad y(a) = A, y(b) = B \quad .$$

построена схема, позволяющая находить приближенное решение в виде сеточной функции по неравномерному разбиению, имеющей отклонение от точного решения на величину $O(h^4)$. В отличие от предыдущих исследований, для краевой задачи с разрывными коэффициентами задается «управление» в виде вектора, имеющего размерность, совпадающую с количеством точек разрыва.

В основу исследований положены те же идеи, что и в работах [1] – [4].

Литература

1. Дронов С.Г., Лигун А.А. Об одном сплайн-методе решения краевой задачи// УМЖ. 1989.Т.41,№ 5. С. 703 – 707.
2. Дронов С.Г. Применение сплайнов по неравномерной сетке к приближенному решению краевых задач// Вопросы оптимальной аппроксимации функций и суммирования рядов. Днепропетровск: ДГУ, 1988. С. 26 – 32.
3. Дронов С.Г., Худая Ж.В. О сплайн-схеме повышенной точности решения задачи Коши для уравнения с разрывными коэффициентами// Математическое моделирование, Днепропетровск, ДГТУ, 1994, №1, С.17-20.
4. Дронов С.Г. Сплайн-метод приближенного розв'язку диференціальних рівнянь з розривними коефіцієнтами// Математичне моделювання, Кам'янське, №1(34), 2016.- С.42 – 44.

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ



“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ – 2019”

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

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ NZORM ТА ОГЛЯД ДЕЯКИХ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

О.М. Кісельова, О.М. Притоманова, В.О. Стрєва, М.Я. Кісельов

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Дніпровський державний технічний університет
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Дослідження нових розділів загальної теорії нескінченновимірного математичного програмування, підрозділом якої є неперервні задачі оптимального розбиття множин, стало передумовою створення ефективних методів та алгоритмів для розв’язання важливих задач оптимізації з різних наукових галузей. Можна виділити два аспекти застосування теорії оптимального розбиття множин: теоретичний та прикладний. Теоретичний інтерес до неперервних задач названої теорії обумовлено можливістю зведення до них в математичній постановці великої кількості задач оптимізації, а прикладний – можливістю застосування методів та алгоритмів теорії оптимального розбиття множин до розв’язання актуальних прикладних задач.

Розроблено програмний продукт NZNORM для розв’язання задач, які у своїй математичній постановці можуть бути зведеними до наступної задачі неперервного оптимального розбиття множин $\Omega \in E^n$ на вимірні за Лебегом підмножини $\Omega_1^1, \dots, \Omega_N^1$; $\Omega_1^2, \dots, \Omega_N^2$; ...; $\Omega_1^M, \dots, \Omega_N^M$ (серед яких можуть бути й порожні) з обмеженнями, із розташуванням координат центрів $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ цих підмножин. А саме,

$$\text{знайти} \min_{(\{\Omega_1^1, \dots, \Omega_N^1; \dots; \Omega_1^M, \dots, \Omega_N^M\}, \{\tau_1, \dots, \tau_N\})} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \left[\varphi_i^j \left(\int_{\Omega_i^j} \rho^j(x) dx \right) + \int_{\Omega_i^j} c^j(x, \tau_i) \rho^j(x) dx \right].$$

при обмеженнях $\sum_{j=1}^M \int_{\Omega_i^j} \rho^j(x) dx = b_i, i = 1, \dots, p, \sum_{j=1}^M \int_{\Omega_i^j} \rho^j(x) dx \leq b_i, i = p+1, \dots, N.$

$$\Sigma_{\Omega}^{N \times M} = \left\{ (\Omega_1^1, \dots, \Omega_N^1; \dots; \Omega_1^M, \dots, \Omega_N^M) : \bigcup_{i=1}^N \Omega_i^j = \Omega, \right. \\ \left. mes(\Omega_i^j \cap \Omega_k^j) = 0, i \neq k, i, k = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M \right\}, \tau = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N \in \Omega^N,$$

де $x = (x^{(1)}, \dots, x^{(n)}) \in \Omega; \tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)}) \in \Omega; b_1, b_2, \dots, b_N$ – задані невід’ємні числа, причому виконуються умови розв’язності задачі

$$S = M \cdot \int_{\Omega} \rho^j(x) dx \leq \sum_{i=1}^N b_i, 0 < b_i \leq S, i = 1, \dots, N.$$

Відомо, що до такого типу задач зводиться широкий клас актуальних задач, серед яких можна виділити задачі територіального розбиття регіону, в загальному випадку неперервно заповненого споживачами, на області споживачів, задачі складського планування, оптимального покриття, розміщення-розподілу, сегментації зображень, класифікації, кластеризації, розпізнавання образів та інші.

МЕТОДИ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТОТЕРМОПРУЖНОСТІ

О.Р. Гачкевич, Р.Ф. Терлецький, А. Станік-Беслер

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Політехніка Опольська (Польща)*

Отримані на основі відомих моделей взаємодії електромагнітного поля (ЕМП) з деформівним твердим тілом [1, 3] системи співвідношень електромагнітотермомеханіки, що містять рівняння, які описують електромагнітні, теплові та механічні процеси є нелінійними. При їх дослідженні часто проводять часткову лінеаризацію розглядаючи малі деформації, коли характеристики зовнішніх електромагнітних, теплових і механічних навантажень такі, що відносні зміщення $U_{\alpha, \beta} \quad \alpha, \beta = \overline{1, 3}$ (видовження і кути повороту) є малими, тобто

$$|U_{\alpha, \beta}| = \sqrt{U_{\alpha, \beta} U_{\beta, \alpha}} = o(\varepsilon) \ll 1. \quad (1)$$

Тут U_{α} – компоненти вектора переміщень, кома після індекса означає диференціювання за відповідними координатами. Тоді отримують, що тензор деформації Лагранжа співпадає з тензором $\varepsilon_{\alpha\beta} = (U_{\alpha, \beta} + U_{\beta, \alpha}) / 2$ малої деформації, причому $|\varepsilon_{\alpha\beta}| \ll 1$. Вважають, що швидкість руху точок тіла є малою, так що

$$\left| \frac{\partial U_{\alpha}}{\partial t} \right| (v^*)^{-1} = o(\varepsilon) \ll 1, \quad (2)$$

де v^* – характеристична швидкість пружної хвилі в тілі.

За прийнятих допущень (1), (2) система співвідношень електромагнітотермомеханіки все ще залишається нелінійною, бо містить фізичні нелінійності і нелінійності, пов’язані з впливом рухомості тіла на характеристики ЕМП.

У відомих з літератури моделях взаємодії ЕМП з деформівними твердими тілами

[3] використовують методи лінеаризації ключової системи рівнянь і крайових умов відносно деякого характеристичного (проміжкового) стану, якого тіло набуває за певних зовнішніх навантажень при врахуванні особливостей взаємозв'язку розглядуваних процесів за цих дій чи внаслідок реальної деформації. Такий стан вважається близьким до актуального, так що збурення параметрів відносно їх значень в характеристичному стані малі. Суть лінеаризації полягає в тому, що механічний стан вибирається близьким до актуального з тим, що відносні зміщення чи деформації і їх швидкості при переміщенні задовольняють згадані вище умови. Для забезпечення цих умов передбачається, що збурення інших визначальних параметрів відносно їх значень в проміжковому стані при переході до актуального є також малими (порядку $o(\varepsilon)$). При цьому вихідна задача розпадається на дві. Перша полягає в знаходженні значень визначальних параметрів в характеристичному стані і є, взагалі кажучи, нелінійною, а друга – лінійна для збурень визначальних параметрів, в якій значення величин у проміжковому стані є вихідними.

Розроблено методику лінеаризації ключової системи рівнянь електромагнітотермомеханіки, сформульованої відносно визначальних параметрів $\Phi = \{\vec{E}, \vec{H}, T, U_\alpha\}$, де $\vec{E}$, $\vec{H}$ – напруженості електричного та магнітного полів; T – температура, U_α – компоненти вектора переміщень). Розглянуто випадок малих деформацій відносно характеристичного стану, за який вибрано стан, що досягається квазістатично за усереднених за характерний час T електромагнітних дій (за дії квазіусталених полів $T = 2\pi/\omega$, де ω – кругова частота) енергетичних та силових чинників дії ЕМП на тіло [1, 2] (нединамічне наближення) і описується параметрами $\hat{\Phi} = \{\hat{\vec{E}}, \hat{\vec{H}}, \hat{T}, \hat{U}_\alpha\}$. Згадані чинники розраховуються за розподілами характеристик ЕМП і температури для тіла, яке приймається в наближенні абсолютно жорсткого закріпленого, тобто при нехтуванні впливом деформаційних процесів на електромагнітні та теплові.

Згідно з означенням характеристичного стану та використовуваним підходом лінеаризації подамо визначальні параметри $\Phi = \{\vec{E}, \vec{H}, T, U_\alpha\}$ у вигляді

$$\Phi = \hat{\Phi} + \Phi^P, \quad (3)$$

де Φ^P – їх збурення відносно характеристичного стану. Приймаємо, що характеристики матеріалу Λ (електрофізичні, теплові, механічні) можна подати теж як

$$\Lambda = \hat{\Lambda} + \Lambda^P, \quad (4)$$

де $\hat{\Lambda}$ – значення в характеристичному стані, а Λ^P – їх збурення, що визначаються збуреннями Φ^P визначальних параметрів. Підставляючи подання (3), (4) у вихідні залежності моделі (записані для малих деформацій) і врахувавши співвідношення, що описують характеристичний стан, отримаємо вихідні співвідношення розглядуваного варіанту електромагнітотермомеханіки для збурень. Для випадку малих збурень параметрів

$$|\Phi^P|/|\Phi| = o(\Phi^P) \ll 1. \quad (5)$$

Приймаємо, що збурення характеристик матеріалу задовольняють умову

$$|\Lambda^P|/|\Lambda| = o(\Lambda^P) \ll 1, \quad (6)$$

і мають порядок малості $o(\Lambda^P)$ не вище порядку малості $o(\Phi^P)$ визначальних параметрів. Утримуючи в записаних співвідношеннях члени лінійні за збуреннями маємо лінеаризовану систему рівнянь і граничних умов для збурень Φ^P визначальних параметрів. Зауважимо, що при цьому умова (5) малості збурень не використовується. Ця умова дає можливість далі забезпечити точність лінеаризованого розв'язку (при введеному характеристичному стані) і на цій основі оцінити межі застосовності процедури лінеаризації.

З використанням запропонованої методики лінеаризації сформульовану нелінійну задачу електромагнітомеханіки електропровідних тіл здатних до поляризації та намаг-

нічення зведено до послідовності двох крайових задач: частково лінеаризованої – для параметрів характеристичного стану та лінійної – для збурень. Частково лінеаризована задача зводиться (у випадку постійних характеристик матеріалу) до послідовності незв'язаних задач: електродинаміки, теплопровідності, а також квазістатичної термопружності при відомих пондеромоторних силах і температурі. Зазначимо, що лінійна задача є неоднорідною (коефіцієнти визначаються за відовими розподілами параметрів в характеристичному стані). При постійних параметрах матеріалу ця задача є задачею математичної фізики зі сталими коефіцієнтами. Тоді задачі на визначення збурень характеристик електромагнітних, теплових та механічних полів розділяються.

Література

1. *Гачкевич О.Р., Терлецький Р.Ф.* Моделі термомеханіки намагнетовних і поляризованих електропровідних деформованих твердих тіл // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – **40**, № 3. – С. 19-37.
2. *Модельовання та оптимізація в термомеханіці електропровідних неоднорідних тіл* / Під заг. ред. Я.Й. Бурака, Р.М. Кушніра. У 5-и т. Т. 1: Термомеханіка багатоконпонентних тіл низької електропровідності / Я.Й. Бурак, О.Р. Гачкевич, Р.Ф. Терлецький. – Львів: СПОЛОМ, 2006. – 300 с.
3. *Hutter K. and van de Ven A.A.* Field-matter interaction in thermoelastic solids. – Lecture Notes in Physics. – 88. – Berlin: Springer-Verlag, 1978. – 234 p.

КОЛИВАННЯ ТА СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ БОЙОВИХ МАШИН ТА СПОРУД, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ ПІД ДІЄЮ НАДЗВУКОВИХ ПОТОКІВ ГАЗУ

М.І.Сорокатий, О.С.Петрученко, О.В.Терещук

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Потоки газу можуть набувати швидкостей, що перевищують швидкість звуку. Це може відбуватися за різних умов, зокрема внаслідок потужних вибухів. Військова техніка при цьому зазнає істотних впливів, які можуть приводити до її повного руйнування. Тому важливим є вивчення поведінки елементів конструкцій машин, механізмів в потоці газу. Особливий інтерес представляють проблеми, що виникають при коливаннях таких конструкцій [1]. Деякі елементи машин і механізмів можуть модельоватися пружними панелями та пластинами (платформи з технікою, перекриття споруд і т. п.). Дослідження стійкості та визначення частотних характеристик є досить важливим для прогнозування поведінки машин та механізмів, що перебувають під дією надзвуків потоків газу.

Динамічна поведінка коливної системи, як відомо, істотно залежить від приєднаних мас і осциляторів, впливаючи на частоти коливань і змінюючи критичні навантаження [2]. Відповідь про якісний і кількісний вплив їхніх параметрів на динаміку системи в загальному випадку дати неможливо. Це можна зробити тільки провівши аналітичне, а якщо це зробити неможливо, -числове дослідження. Таке дослідження буде тим ефективнішим, наскільки просто входять параметри системи, що

досліджується в характеристичне рівняння, наскільки вдало це рівняння побудовано, наскільки воно загальне, наскільки легко із нього отримуються часткові випадки, тощо.

Розглянуто плоску пружну пластину (рис.1) із змінними законами розподілів геометричних і механічних характеристик за умов пружного закріплення країв $x=0$ і $x=a$ (параметри пружного закріплення ψ_0 і ψ_1 – невід’ємні).

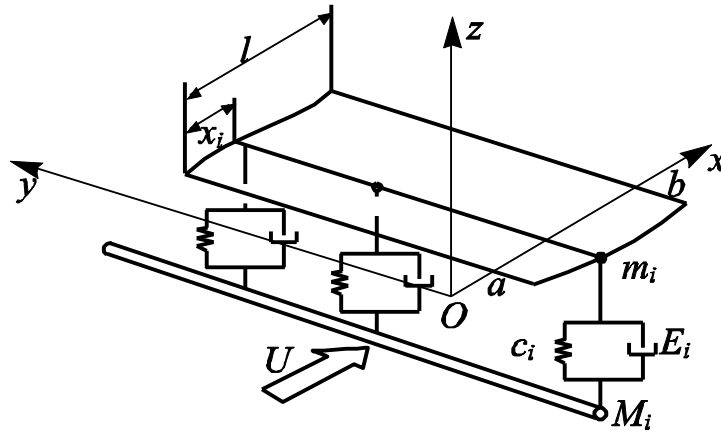


Рис. 1. Схема панелі з приєднаними елементами в потоці газу

Пластина обтікається у напрямку осі Ox надзвуковим газовим потоком газу із швидкістю u . Ширина a пластини вважається істотно меншою у порівнянні із її розмірами поперек потоку (циліндричний згин). До пластини з протилежної сторони під'єднано осцилятори M_i точках $0 < x_i < a$ і в цих же точках зосереджено маси m_i . Деформування пластини описуються співвідношення, що базуються на моделі Кірхгофа – Лява. Рівняння малих коливань при умові застосування поршневої теорії мають такий вигляд [2].

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(D(x) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) + m(x) \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} + b(x) \frac{\partial \omega}{\partial t^2} + c(x) \omega + \\ + \sum_{i=1}^n M_i \delta(x - x_i) \frac{d^2 q_i}{dt^2} + \frac{\chi p_\infty}{c_\infty} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned} m(x) = \rho(x)h(x) + \sum_{i=1}^n m_i \delta(x - x_i); \quad b(x) = \varepsilon \rho(x)h(x) + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \delta(x - x_i); \\ c(x) = r(x) + \sum_{i=1}^n k_i \delta(x - x_i); \quad D(x) = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} > 0; \end{aligned}$$

$h(x)$ – товщина панелі; $\rho(x)h(x)$ – маса одиниці довжини; $\omega(x, t)$ – прогин панелі; u – швидкість потоку; M_i – маса приєданого елемента; $q_i(t)$ – його переміщення; p_∞ – незбурений тиск потоку; χ – показник політропи; $\delta(x)$ – дельта-функція; $D(x)$ – циліндрична жорсткість.

Краї панелі вважаються пружно закріпленими

$$\begin{cases} \omega = 0 \\ D(x) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \psi_0 \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0 \end{cases} \text{ при } x = a \quad \begin{cases} \omega = 0 \\ D(x) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \psi_1 \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0 \end{cases} \text{ при } x = b, \quad (2)$$

Переміщення приєднаного елемента $q_i(t)$ задовільняє такому диференціальному рівнянню

$$M_i \frac{d^2 q_i}{dt^2} + E_i \left(\frac{dq_i}{dt} - \frac{d\omega_i}{dt} \right) + c_i (q_i - \omega_i) = 0. \quad (3)$$

Представляючи $\omega(x, t)$ і $q_i(t)$ у вигляді $\omega(x, t) = W(x)e^{st}$, $q_i(t) = Q_i e^{st}$ із рівнянь (1) - (3) отримаємо таку задачу на власні значення

$$L[W] \equiv (DW'')' - \beta W' - \lambda W = \sum_{i=1}^n \alpha_i W_i \delta(x - x_i), \quad (4)$$

$$\begin{cases} W = 0 \\ DW'' - \psi_0 W' = 0 \end{cases} \text{ при } x = a, \quad \begin{cases} W = 0 \\ DW'' + \psi_1 W' = 0 \end{cases} \text{ при } x = b, \quad (5)$$

Нехай $K(x, \alpha)$ – функція Коші рівняння $L[W] = 0$. Запишемо його загальний розв’язок у вигляді [2]

$$W(x) = D_0 K(x, \alpha) + D_1 \dot{K}(x, \alpha) + D_2 \ddot{K}(x, \alpha) + D_3 \dddot{K}(x, \alpha). \quad (6)$$

Поклавши тут $\alpha = 0$ і задовольнивши крайовим умовам після перетворень отримаємо характеристичне рівняння

$$(\psi_0 \psi_1 F(x, \alpha) + D(\alpha) \psi_0 F'(x, \alpha) - D(\alpha) \psi_1 \dot{F}(x, \alpha) - D(\alpha) D(x) \dot{F}'(x, \alpha)) \Big|_{\substack{x=b \\ \alpha=a}} = 0, \quad (7)$$

функція $F(x, \alpha)$ визначається співвідношенням

$$F(x, \alpha) = Q_n(x, \alpha) \dot{Q}'_n(x, \alpha) - \dot{Q}_n(x, \alpha) Q'_n(x, \alpha). \quad (8)$$

Якщо до панелі приєднано тільки один осцилятор, то це рівняння набуває такого вигляду (передній край розміщено в точці $x = 0$, а задній в точці $x = a$)

$$(\psi_0 \psi_1 \Delta(x, \alpha) + D(\alpha) \psi_0 \Delta'(x, \alpha) - D(\alpha) \psi_1 \dot{\Delta}(x, \alpha) - D(\alpha) D(x) \dot{\Delta}'(x, \alpha)) \Big|_{\substack{x=a \\ \alpha=0}} = 0,$$

де

$$\Delta(x, \alpha) \equiv F(x, \alpha) - \alpha_1 (F'(x, \alpha) F(x, x_1) - F(x_1, \alpha) \dot{F}(x, x_1)). \quad (9)$$

Із цього рівняння можна отримати такі часткові характеристичні рівняння:

$$\Delta(x, \alpha) \Big|_{\substack{x=a \\ \alpha=0}} = 0 -$$

панель із заземленими краями;

$$\Delta'(x, \alpha) \Big|_{\substack{x=a \\ \alpha=0}} = 0 -$$

відповідає панелі із заземленим переднім краєм і шарнірно закріпленим заднім;

$$\dot{\Delta}(x, \alpha) \Big|_{\substack{x=a \\ \alpha=0}} = 0 -$$

панель із шарнірно закріпленим переднім краєм і заземленим заднім;

$$\dot{\Delta}'(x, \alpha) \Big|_{\substack{x=a \\ \alpha=0}} = 0 -$$

шарнірно закріплені краї.

Ці рівняння можна записати у замкненому вигляді або у вигляді ряду за параметром λ , залежно від форми представлення функції Коші. Замкнена форма характеристичного рівняння отримується, якщо функцію Коші записати у вигляді

$$K(x, \alpha) = \sum_{i=1}^4 \frac{e^{s_i(x-\alpha)}}{P'(s_i)}, \quad P(s) = s^4 - \beta s - \lambda, \quad (10)$$

де s_i – корені многочлена $P(s)$. Зауважимо, що при $\lambda = 0$, функція Коші має вигляд:

$$K(x, \alpha) = \frac{1}{3\beta} \left(e^{\sqrt[3]{\beta}(x-\alpha)} + 2e^{-\frac{\sqrt[3]{\beta}}{2}(x-\alpha)} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt[3]{\beta}(x-\alpha) - 3 \right). \quad (11)$$

Ми тут скористаємося представленням функції Коші у вигляді ряду. При цьому

$$F(x, \beta, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n g_n(x, \beta) \lambda^n; g_n(x, \beta) = \sum_{m=0}^{\infty} 2^{2n+1} C_{n+m}^n \frac{\beta^{2m} x^{6m+4n+4}}{(6m+4n+4)!} \quad (12)$$

Параметр швидкості потоку β входить в характеристичне рівняння у парних степенях. Це означає, що зміна напрямку потоку на протилежний не вплине динамічну поведінку панелі. Тобто, панелі, що обтікаються потоком в прямому і протилежному напрямках ведуть себе динамічно однаково. Зауважимо, що цей висновок має місце і для довільних пружних умов закріплення країв панелі.

Для проведення числового аналізу розглянуто панель, краї якої шарнірно закріплені. Деякі результати цього аналізу представлено нижче. На рис.2 показано залежність нижчих частот коливань від швидкості потоку при різних значеннях ω_0^2 частоти осцилятора. Втрата стійкості при великих значеннях ω_0^2 обумовлена злиттям першої та другої частот ($\omega_0^2 = 60$). При малих значеннях частоти осцилятора взаємозв'язок панель – осцилятор стає слабкою і втрата стійкості обумовлюється взаємодією вищих частот ($\omega_0^2 = 10$).

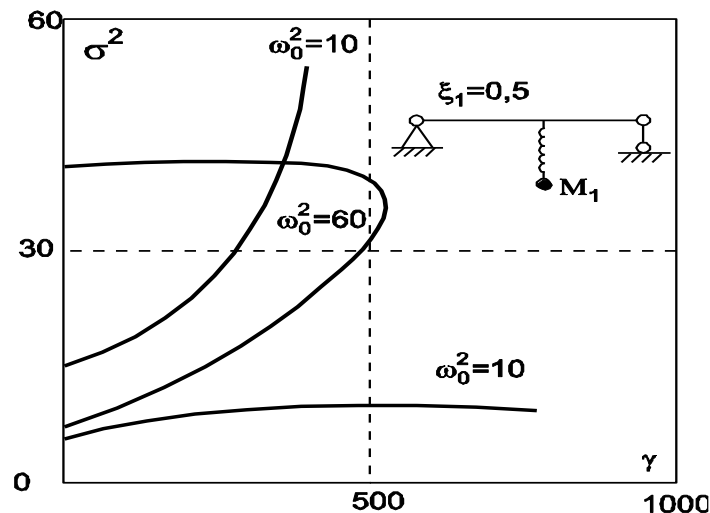


Рис. 2. Залежність частот коливань панелі σ^2 від швидкості потоку при різних значеннях частот осцилятора ω_0^2 при $\xi_1 = 0,5$, $\mu = 0,5$.

Умови втрати стійкості шляхом автоколивань залежать від швидкості потоку. Від неї залежить значення енергії, що отримує система і значення енергії, яку вона розсіює внаслідок внутрішнього і аеродинамічного демпфування.

Таким чином, за результатами дослідження, можна зробити такі висновки:

- параметри зосереджених підкріплених мас істотно впливають на стійкість і частоти коливань елементів конструкцій військової техніки та споруд, які можуть моделюватися плоскими панелями та пластинами;
- підвищення стійкості можна добиватися за рахунок збільшення власних частот конструкції збільшенням відношень “жорсткість-маса” окремих її частин. Цей спосіб ґрунтується на тому, що енергія, яку отримує система при автоколивній втраті стійкості не залежить від частоти, в той час як енергія, яка розсіюється, пропорційна до частоти. Ця залежність між критичною швидкістю потоку і жорсткістю не є монотонною.
- істотний вплив на підвищення критичної швидкості може здійснювати тертя, яке приводить до збільшення розсіювання енергії. Це є другим способом боротьби із втратою стійкості. Поєднання цих двох способів дало можливість добитися істотної стабілізації розглянутих систем.

Література

1. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко; пер. Я.Г. Пановко с 3-го американ. изд., перераб. совместно с Д.Х.Янгом.-2-е изд., стер.-М.: URSS; Ком. Книга, 2006.-439с.
2. Зорий Л.М. О стабилизирующем влиянии геометрических и жесткосных параметров на флаттер панелей с сосредоточенными массами в сверхзвуковом потоке / Л.М. Зорий, Н.И. Сорокатый Изв. Рос.академии наук., МТТ.-1992.- №1.-С. 20-23.
3. Кушнір Р. Вплив параметрів пружних опор на стійкість і малі коливання завантаженого пружного стрижня / Р. Кушнір, М. Сорокатый Машинознавство. – 2004. - №1. – С.20-23.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В. П. Пошивалов, Ю. Ф. Даниев, Л. В. Резниченко, И. И. Телегина

Институт технической механики Национальной академии наук и Государственного космического агентства Украины

В соответствии с требованиями технического задания на проектирование сложных систем (СС) должен быть проведен анализ надежности подсистем СС и системы в целом.

В работе рассматривается использование вероятностных методов при анализе надежности СС, которые в настоящее время широко используются при определении показателей надежности отдельных элементов СС. Одним из основных видов отказов СС являются отказы, связанные с разрушением элементов СС.

Проводится анализ возникновения отказов, связанных с разрушением элементов СС. Если такие отказы являются очень редкими событиями, то для анализа их появления необходимо применять не только традиционные статистические методы, но и методы, основанные на физическом моделировании процессов возникновения исходных событий.

Анализ надежности на основе вероятностных методов состоит из четырех этапов: анализ исходных данных; расчеты вероятностей разрушения; определение

показателей надежности; разработка рекомендаций по обеспечению необходимого уровня надежности.

Основой для выбора критерия надежности является сравнение показателей надежности, полученных при создании нового проекта (модернизации старого) или при определении уровня надежности элементов действующей системы, с показателями надежности (уровнем надежности) предшествующих экземпляров (или аналогов).

Для построения вероятностной модели зарождения новых дефектов должны быть решены четыре задачи: выявление на основании опыта эксплуатации и экспериментальных исследований тех факторов, которые влияют на зарождение дефектов; построение математических моделей влияния факторов на зарождение дефектов; определение вероятности зарождения одного дефекта от выявленных факторов; построение математической модели, объединяющей зарождение всех дефектов.

В работе приводятся критерии надежности для различных систем: механических, технических и информационных.

Рассмотрен структурно-иерархический принцип для анализа надежности, который позволяет учитывать иерархию систем, так как надежность низших структурно-иерархических уровней несут информацию не только об их состоянии, но и определенную долю информации о состоянии системы в целом.

Литература

1. О классификации стартового оборудования ракетно-космических комплексов при обосновании норм прочности/ А. В. Дегтярев, О. В. Пилипенко, В. С. Гудрамович, В. Н. Сиренко, Ю. Ф. Даниев, Д. В. Клименко, В. П. Пошивалов // Космічна наука і технологія. 2016. - Т. 22, №1.-С. 3-13.
2. Переверзев Е. С., Даниев Ю. Ф. Испытания и надежность технических систем. – Днепропетровск: НАН, НКА Украины, Институт технической механики, 1999. –224 с.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СПЛАВА АМг6М ЗАСЧЕТ ВВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

В. П. Пошивалов, И. И. Телегина

*Институт технической механики Национальной академии наук Украины и
Государственного космического агентства Украины*

Разработана методика повышения характеристик длительной прочности конструкционных материалов, которая апробирована на образцах из деформируемого алюминий-магниевого сплава АМг6М.

Общая схема энергетической обработки образцов сводилась к следующему.

Предварительно растянутые образцы выдерживались в условиях ползучести приблизительно до половины времени разрушения, а затем проводилась промежуточная энергетическая обработка

Энергетическая обработка включала:

– электростимулированный нагрев образцов до температуры $T = 160^\circ \text{C}$ за счет прохождения сквозь них электрического тока;

- одноосное растяжение образцов в режиме ползучести со следующей их выдержкой приблизительно до половины времени разрушения;
- сжимающая нагрузка образцов при температуре $T = 300^{\circ}\text{C}$;
- отжиг образцов при $T = 320^{\circ}\text{C}$;
- воздействие ударными ультразвуковыми колебаниями.

Ударная ультразвуковая обработка проводилась в упругой зоне деформирования при одноосном растяжении. Испытание на ползучесть проводилось по ускоренному режиму: выдержка под нагрузкой $P = 2100\text{ N}$ в условиях одноосного растяжения при температуре $T = 160\text{ C}$. Действие энергетических потоков на материал оценивалось по изменению характеристик кратковременной прочности (предел прочности σ_B и предел текучести $\sigma_{0,2}$), длительной прочности (время до разрушения при ползучести τ), удельной работы разрушения образца W , а также микроструктурными изменениями.

Промежуточная пластическая деформация при испытаниях на ползучесть обеспечивалась двумя схемами.

По первой схеме образцы выдерживались приблизительно до половины времени разрушения, после разгрузки и охлаждения подвергались действию высокотемпературной сжимающей нагрузки, затем осуществлялась ударная ультразвуковая обработка и после чего образцы снова выводились на режим ползучести до разрушения [1].

По второй схеме после действия высокотемпературной сжимающей нагрузки проводился отжиг образцов при температуре $T = 320^{\circ}\text{C}$ на протяжении 2-х часов с последующим воздействием на них ударных высокочастотных колебаний.

Выявлено, что комбинированная энергетическая обработка, которая включает действие полей различной физической природы, увеличивает время к разрушению образцов сплава АМгбГ при ползучести и показатели кратковременной прочности материала. Показано, что увеличение характеристик прочности достигается за счет заживления дефектов и повышения плотности дислокаций.

Литература

1. Пошивалов В. П. Підвищення довговічності сплаву АМгбМ за рахунок енергетичної обробки в умовах повзучості / В. П. Пошивалов, Д. Г. Борщевська, В. Д. Рябчий, І. І. Телегіна // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – Т. 49, № 6. – С. 62-69.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК НА РОЛИКИ ТРУБЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов, Б.И. Мостовой

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

Опыт эксплуатации ленточных трубчатых конвейеров показал, что, в отличие от ленточного конвейера с желобчатой лентой, на ролики роликоопор трубчатого конвейера действуют дополнительные силы, обусловленные распором груза и силами инерции, связанными с кривизной става и прогибом ленты от веса груза. Эти силы, действующие на ролики трубчатого конвейера, существенно уменьшают их ресурс.

Поэтому для повышения ресурса ролика трубчатого конвейера необходимо, прежде всего, определить величины этих сил. Как показал анализ литературы по данной теме, этот вопрос не достаточно изучен.

В данной работе, на основании уравнений равновесия цилиндрической упругой оболочки, заполненной сыпучим грузом, определены силы, действующие на ролики шестироликовой опоры трубчатого конвейера от веса и распора сыпучего груза, веса и изгиба ленты в ее поперечном сечении, а также от сил инерции, обусловленных кривизной трасы и прогибом ленты, возникающих под действием силы тяжести транспортируемого груза. При этом используются теория равновесия упругой цилиндрической оболочки и теория предельного равновесия сыпучей среды.

Рассмотрен сначала случай, не учитывающий динамические усилия, действующие на ролики трубчатого конвейера при движении ленты с грузом по роликоопорам конвейера. В этом случае усилие, действующее на ролики роликоопор прямолинейного участка става трубчатого ленточного конвейера, состоит из суммы сил от веса и сил распора сыпучего груза, веса ленты и от изгиба ленты конвейера, т.е.

$$P_i = P_{\Gamma i} + P_{\eta i} + P_{\mu i} \quad (i = 1, \dots, 6), \quad (1)$$

где P_i – сила, действующая на i -й ролик роlikоопоры трубчатого конвейера (рис. 1), Н; $P_{\Gamma i}$ – сила, действующая на i -й ролик роlikоопоры трубчатого конвейера от веса и распора сыпучего груза, Н; P_{li} – сила, действующая на i -й ролик роlikоопоры трубчатого конвейера от веса ленты (см. рис. 1), Н; P_{ui} – сила, действующая на i -й ролик трубчатого конвейера от изгиба ленты, Н.

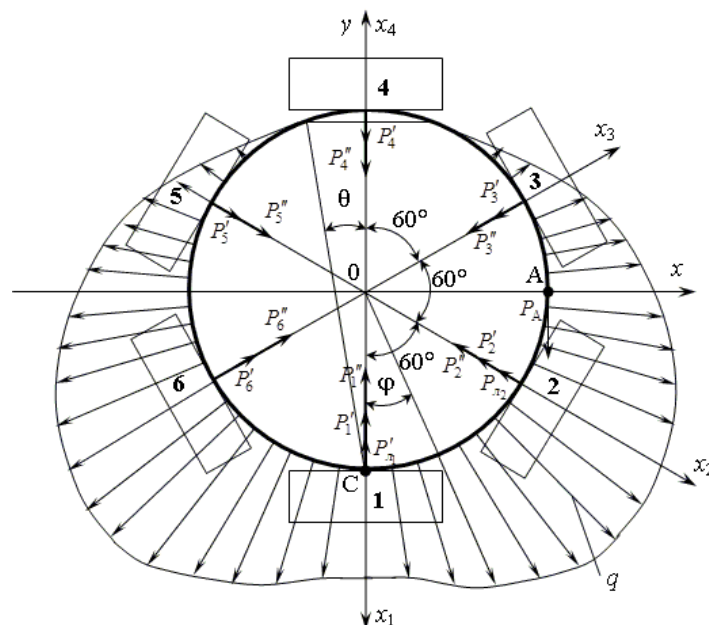


Рис. 1. Расчетная схема сил, действующих на ролики трубчатого конвейера

Для определения сил, действующих на ролики трубчатого конвейера от веса и распора сыпучего груза, предполагалось, что лента трубчатого конвейера представляет собой незамкнутую цилиндрическую упругую оболочку радиуса R , полностью заполненную сыпучим грузом и движущуюся по роликоопорам с шестью роликами. При этом средняя величина нормальной распределенной нагрузки на ленту определялась по формуле $q = (q_a + q_n)/2$, где q_a – активная нормальная распределенная нагрузка на ленту конвейера, связанная с ее сжатием, Н/м²; q_n – пассивная нормальная распределенная нагрузка на ленту конвейера, связанная с ее развалом, Н/м².

При этом активная и пассивная нормальные распределенные нагрузки соответственно равны [1]:

$$q_a = R\gamma(\cos^2 \varphi + m \sin^2 \varphi)(\cos 2\theta + \cos \varphi); \quad q_n = R\gamma\left(\cos^2 \varphi + \frac{\sin^2 \varphi}{m}\right)(\cos 2\theta + \cos \varphi), \quad (2)$$

где m – коэффициент подвижности сыпучего груза ($m = 1 + 2f^2 - 2f\sqrt{1+f^2}$); f – коэффициент внутреннего трения сыпучего материала; γ – объемный вес транспортируемого груза ($\gamma = \rho g$), Н/м³; ρ – плотность сыпучего груза, кг/м³; φ – текущая угловая координата в поперечном сечении трубчатой ленты конвейера, рад; θ – угол, определяющий степень заполнения сыпучим материалом поперечного сечения контура ленты, рад.

Силы, действующие на ролики роликоопоры трубчатого конвейера от веса и деформации груза, определяются по формулам:

$$P_{Г1} = I_1 \gamma R^2 l_p; P_{Г2} = I_2 \gamma R^2 l_p; P_{Г3} = I_3 \gamma R^2 l_p; P_{Г4} = I_4 \gamma R^2 l_p; P_{Г5} = I_5 \gamma R^2 l_p; P_{Г6} = I_6 \gamma R^2 l_p, \quad (3)$$

где I_i – числовые коэффициенты зависимости от f ($i = 1, \dots, 6$); l_p – расстояние между роликоопорами на линейном участке става трубчатого конвейера, м.

Силы, действующие на ролики трубчатого конвейера от веса ленты, определяются по формулам:

$$P_{Л1} = 0,528 q_L l_p; P_{Л2} = 0,473 q_L l_p; P_{Л3} = 0; P_{Л4} = 0; P_{Л5} = 0; P_{Л6} = 0,473 q_L l_p, \quad (4)$$

где q_L – погонный вес ленты, Н/м.

Силы, действующие на ролики трубчатого конвейера от изгиба ленты, определяются по формуле:

$$P_{ui} = \frac{D l_p}{\sqrt{3} R^2} \quad (i = 1, \dots, 6), \quad (5)$$

где D – изгибная жесткость трубчатой ленты в плоскости ее поперечного сечения, Н·м.

При движении груза по роликоопорам прямолинейного участка трубчатого конвейера возникают динамические усилия, действующие на ролики, обусловленные прогибом ленты под действием сил тяжести груза и ленты. При этом при движении мелкокускового груза по прямолинейному участку става конвейера динамические усилия на ролики шестироликовой опоры трубчатого конвейера определяются по формулам [2]:

$$P_{\partial i} = k_{\partial} P_{Гi} + k_{\partial} P_{Лi} + P_{ui} \quad (i = 1, \dots, 6), \quad (6)$$

где k_{∂} – коэффициент динамичности при движении мелкокускового груза по роликоопорам конвейера, определяемый по формуле

$$k_{\partial} = 1 + \frac{v_L^2}{g} \cdot \frac{q_1}{\left(S_L - \frac{v_L^2}{g} q_1\right)},$$

где v_L – скорость ленты, м/с; S_L – натяжение ленты, Н; $q_1 = q_L + q_c$, q_c – погонный вес груза ($q_c = \pi \gamma R^2$), Н/м.

В случае криволинейного участка става трубчатого ленточного конвейера на ролики кроме сил от веса и сил распора сыпучего груза, веса ленты и от изгиба ленты конвейера действуют силы от натяжения ленты и динамические силы от изгиба ленты и сил инерции, т.е. суммарная сила, действующая на ролики, определяется по формуле [3]:

$$P'_{\partial i} = k_{\partial} P'_{Гi} + k_{\partial} P'_{Лi} + P'_{ui} + P_n \quad (i = 1, \dots, 6), \quad (7)$$

где P_n – сила, действующая на ролики роликоопоры криволинейного участка става трубчатого конвейера от натяжения ленты, Н.

Силы $P'_{li}, P'_{li}, P'_{ui}$ определяются по тем же формулам, что и силы P_{li}, P_{li}, P_{ui} , т.е. по формулам (3), (4) и (5), только вместо l_p подставляется l'_p (l'_p – расстояние между роlikоопорами на криволинейном участке става трубчатого конвейера, м), а вместо γ подставляется γ' , определяемое по формуле $\gamma' = \rho(g + v_l^2/R_k)$, где R_k – радиус кривизны криволинейного участка става трубчатого конвейера, м.

Сила P_n , действующая на ролики, из треугольника равновесия сил, действующих на ролики от натяжения ленты и реакции роликов, определяется по формуле

$$P_n = S_l l'_p / R_k. \quad (8)$$

Выводы

1. Силы, действующие на ролики шестироликовой опоры трубчатого конвейера, обусловленные весом и распором сыпучего груза, пропорциональны квадрату радиуса трубчатой ленты и прямо пропорциональны расстоянию между роlikоопорами. При этом силы, действующие на нижний центральный и нижние боковые ролики, обусловленные весом и распором сыпучего груза, равны приближенно сумме веса сыпучего груза и ленты конвейера на участке между роlikоопорами;

2. Силы, действующие на ролики трубчатого конвейера, обусловленные изгибом ленты, прямо пропорциональны изгибной жесткости ленты и расстоянию между роlikоопорами и обратно пропорциональны квадрату радиуса трубчатой ленты;

3. Силы, действующие на ролики трубчатого конвейера, обусловленные весом ленты, прямо пропорциональны погонной нагрузке и расстоянию между роlikоопорами и не превышают 11 % от общей суммы сил веса и распора сыпучего груза;

4. Силы, действующие на ролики криволинейного участка става трубчатого конвейера, обусловленные натяжением ленты, прямо пропорциональны натяжению ленты и расстоянию между роlikоопорами и обратно пропорциональны радиусу кривизны криволинейного участка става.

5. Динамические составляющие усилий, действующих на роlikоопоры трубчатого конвейера, не превышают 10 % от статических нагрузок на роlikоопоры трубчатого конвейера.

Литература

1. Шешко Е. Е. Влияние напряженно-деформированного состояния лент крутонаклонного конвейера с прижимной лентой на его работоспособность / Е. Е. Шешко, А. А. Касаткин // Горный журнал. – 2009. – №1. – С. 79–82.
2. Кирия Р. В. Определение коэффициента динамичности при движении ленты с кусками груза по роlikоопорам трубчатого конвейера / Р. В. Кирия, А. Н. Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 131. – С. 144–151.
3. Кирия Р. В. Определение динамических усилий на роlikоопоры при движении ленты и груза по криволинейному участку трубчатого конвейера / Р. В. Кирия, А. Н. Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2018. – Вып. 139. – С. 152–161.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА, СЛАБОАРМИРОВАННОГО КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ

В.С.Зеленский, В.М.Быстров, В.А.Декрет

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

С использованием трехмерных соотношений механики деформируемых тел и модели «коротких волокон» [1] исследуется пространственная задача устойчивости композитного материала с армирующими волокнами конечных размеров при их малой концентрации. Исследуется взаимодействие между двумя одинаковыми волокнами конечных размеров, которые размещены вдоль сжимающей нагрузки параллельно между собой. Решение рассматриваемой задачи осуществляется в точной постановке, когда математическими моделями задач определения напряженного состояния и критических параметров являются уравнения линейной теории упругости и трехмерной линейаризованной устойчивости [2]. Наполнители (армирующие элементы) и связующий (матрица) моделируются линейно-упругими изотропными телами.

Расчетная схема и условия нагружения композита приведены на рис.1. Для решения задачи устойчивости используются численные методы [3].

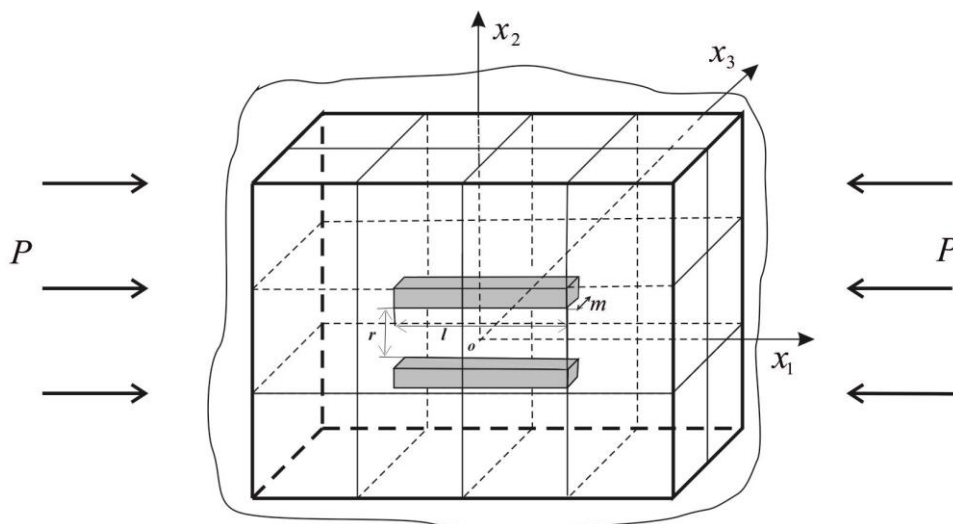


Рис.1 Расчетная схема и условия нагружения композита

Литература

1. Гузь А.Н., Декрет В.А. Модель коротких волокон в теории устойчивости композитов - LAPLAMBERT Academic Publishing.2015.-315с.
2. Гузь А. Н. Основы трехмерной теории устойчивости деформируемых тел. Киев: Вища шк. 1986. 512 с.
3. Статика материалов.т.3. Механика композитов. Киев: Наук. думка. 1993. 453с.

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РОСТА ПАРОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

Ю.В. Бразалук, А.И. Губин, Е.О. Дидинская, Д.В. Евдокимов

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

Пузырьковая гидродинамическая кавитация представляет собой сложный процесс фазового перехода в многофазной среде, вызванный гидродинамическими особенностями течения несжимаемой жидкости. В отличие от ультразвуковой кавитации, которая нередко применяется в технологических процессах, гидродинамическую кавитацию практически всегда можно считать явлением нежелательным, а иногда просто небезопасным для конструкций, устройств, машин и механизмов, взаимодействующим со скоростным потоком несжимаемой жидкости. Развитие кавитации, то есть, рост паровых пузырьков в высокоскоростном потоке несжимаемой жидкости при его ускорении, с трудом поддается экспериментальному изучению, и поэтому предпочтение в таких исследованиях следует отдать математическому и численному моделированию рассматриваемого процесса, что и определяет актуальность тематики настоящей работы.

Пусть поток несжимаемой жидкости, содержащий малые паровые или газовые пузырьки, а так же другие включения, способные послужить зародышами кавитационных пузырьков, движется с переменной скоростью в канале переменного поперечного сечения. С целью упрощения дальнейших рассуждений, но никак не уменьшая общности постановки рассматриваемой задачи, предположим, что зародыши (объекты) паровой фазы равномерно и регулярнораспределены в массе жидкости. Тогда задача роста паровых пузырьков может быть сформулирована в рамках принципа «частица в ячейке», а ячейка выбрана в форме прямоугольного параллелепипеда. Пологая, что ячейка полностью увлекается потоком или, что тоже самое, что размеры, а тем более масса, парового пузырька пренебрежимо малы по сравнению с размерами и массой жидкости в ячейки, очевидно заключаем, что скорость ячейки равна скорости жидкости в месте расположения ячейки. Кроме того, полагаем, что пузырек неподвижен относительно ячейки и находится в ее геометрическом центре. Для прямолинейного движения ячейки такое предположение, безусловно, оправдано, а для движения ячейки по криволинейной траектории должно наблюдаться сепарационное движение пузырька по направлению к центру кривизны траектории. Как и всякое движение, движение парового пузырька под действием центробежных и центростремительных сил характеризуется собственным масштабом времени, который можно будет использовать в отношениях с другими масштабами времени для получения малых параметров в асимптотическом анализе.

Рост парового пузырька в первом приближении (то есть, в предположении о том, что в процессе роста парового пузырька форма и размеры ячейки меняются незначительно) описывается уравнением теплопроводности для жидкой фазы с граничным условием теплоизоляции на внешних границах ячейки и с условием первого рода (температура равна температуре кипения, которая меняется в ходе процесса) на поверхности парового пузырька. Чтобы сформулировать начальные условия, предположим, что в начальный момент времени существовало термодинамическое равновесие между жидкостью и пузырьком, то есть, температура в ячейке везде была одинаковой и равной температуре фазового перехода при давлении, соответствующем началу процесса движения. Условие роста пузырька является не обычным условием

Стефана, а условием гомотетичного роста, которое означает, что пузырек в процессе роста сохраняет сферическую форму.

В рассматриваемой задаче есть несколько геометрических масштабов, которые предполагают проведение асимптотического анализа. Однако наиболее универсальным представляется подход, основанный на сравнении временных масштабов (темпоральная асимптотика), связанных с упомянутыми масштабами или иными процессами. Итак, первый временной масштаб связан с обезразмеренным временем общего (несущего) течения несжимаемой жидкости (несущей фазы); второй – определяется числом Фурье задачи теплопроводности в ячейке периодичности; третий – это стефановское время фазового перехода; четвертый – характерное время сепарационного движения пузырьков пара под действием центробежных и центростремительных сил. Поскольку геометрические масштабы изменяются в весьма широких пределах, *a priori* ничего нельзя сказать про соотношение временных масштабов, хотя понятно, например, что стефановское время фазового перехода намного медленнее времени, определяемого числом Фурье. Однако в общем случае асимптотический анализ должен проводиться для каждого конкретных значений определяющих параметров.

Для расчета процесса фазового перехода в ячейке периодичности, то есть, для решения краевой задачи для уравнения теплопроводности в настоящей работе использовался метод граничных элементов, что особенно удобно, поскольку в областях сложной геометрической формы не было необходимости строить внутреннюю расчетную сетку, а перестройка граничной сетки в пошаговом по времени процессе было совершенно элементарной.

Предложенный в настоящей работе подход был проиллюстрирован несколькими расчетами, подтверждающими его работоспособность и эффективность.

Описанный выше метод расчета и иные результаты настоящей работы могут быть рекомендованы для использования при проектировании технических систем, связанных с высокоскоростными течениями несжимаемой жидкости, для предотвращения возникновения в них развитой гидродинамической кавитации, например, при проектировании высокопроизводительных насосов, применяемых в энергетике, химической и металлургической промышленности. Еще одной перспективной областью применения разработанного подхода может служить гидродинамическая технология добычи полезных ископаемых, в соответствии с которой порода, например, угольный пласт, разрушается узконаправленной высокоскоростной струей жидкости. Наконец, традиционной областью проявления гидродинамической кавитации являются течения жидкости вблизи оконечностей гребных винтов высокоскоростных судов. Отметим важность последней области исследования, поскольку развитая кавитация является наиболее интенсивным механизмом износа гребных винтов, то есть, ее предотвращение позволяет значительно увеличить долговечность использования этой важнейшей системы надводных и подводных судов особенно в военно-морском флоте.

Особый интерес авторов настоящей работы привлекали кавитационные течения в патрубках магистралей питания ракетных двигателей на жидком топливе. Данный класс задач существенно отличается от традиционных задач, связанных с кавитационными течениями, тем, что патрубки ракетных двигателей на жидком топливе используются на протяжении очень ограниченного времени, так что, если в них и возникнет, и разовьется кавитация, то основным вопросом окажется: сумеет ли она за столь короткий промежуток времени нанести существенный урон конструкции турбонасосного агрегата? Показано, что задачи и этого класса с успехом поддаются анализу предложенными здесь методами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В.Ф. Монастырский, Л.А. Новиков

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

С.В. Воронцов

Северо-Восточный федеральный университет, г. Мирный, Россия

Выбор оптимальных режимов работы мельниц мокрого самоизмельчения (ММС), при которых достигается максимальная ее эффективность, выполняется с использованием двух критериев: затраты электроэнергии, приходящиеся на одну тонну измельченной руды, и средневзвешенный диаметр на выходе из ММС. В [1, 2] решена задача оптимизации эффективности работы ММС путем выбора оптимального режима взаимодействия крупных кусков с элементами ММС или с крупными кусками, расположенными в центре мельницы. Установлено, что выбор режима зависит от частоты вращения барабана и его диаметра и изменяется в пределах: прилифтерный режим от 10 до 12 1/мин; водопадный – 8,65–10,5 1/мин; каскадный – 8,0–9,5 1/мин. Это позволило повысить производительность ММС на 15–20 % по сравнению с режимами, рекомендованными при проектировании ($\omega = 0,75n_{кр}$ 1/мин, где $n_{кр}$ – критическая скорость вращения барабана).

Однако вопрос выбора оптимального режима с учетом указанных выше критериев теоретически не был решен.

Взаимосвязь между частотой вращения барабана и эффективностью работы ММС по показателям удельных затрат электроэнергии на тонну измельченной руды и средневзвешенного диаметра зерен на выходе ММС решалась экспериментально. Методикой выполнения экспериментальных исследований было предусмотрено испытать ММС различных типоразмеров на разных режимах работы: $0,75n_{кр}$, $0,7n_{кр}$, $0,65n_{кр}$, $0,6n_{кр}$. Частота вращения фиксировалась контактным датчиком, затраты энергии определялись подсистемой АСУТП «Энергетик», средневзвешенный диаметр зерен руды на выходе из ММС – по данным рассеивания проб, производительность измерялась при помощи датчика объемного взвешивания и контролировалась конвейерными весами.

Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунке 1,а,б.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	Наименование предприятия	Объекты исследования	Режим работы	Диаметр барабана	$n_{кр}$, 1/мин	Измеряемая частота вращения барабана	Средневзвешенный диаметр зерен, мм	Производительность, т/ч
1	Фабрика № 12	ММС-4 (ММС 90×2,8) СЗТМ	$0,60n_{кр}$	9,0	14,76	8,85	3,96–4,04	260
			$0,65n_{кр}$	9,0	14,76	9,59	3,82–3,93	240
			$0,70n_{кр}$	9,0	14,76	10,33	3,39–3,42	212
			$0,75n_{кр}$	9,0	14,76	11,07	3,46–3,58	208
2	Фабрика № 16	(TGL 5,0×2,3) Фирма Сведала	$0,60n_{кр}$	5,0	19,1	11,46	3,14–3,21	95
			$0,65n_{кр}$	5,0	19,1	12,41	2,91–2,95	90
			$0,70n_{кр}$	5,0	19,1	13,37	2,96–3,02	82
			$0,75n_{кр}$	5,0	19,1	14,32	3,08–3,16	79

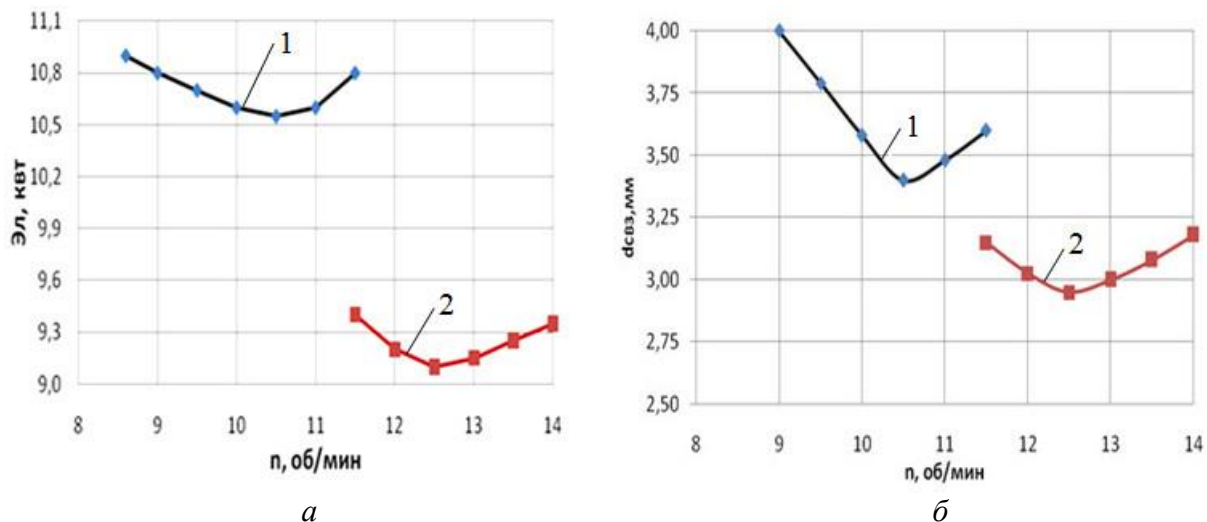


Рис. 1 – Зависимости изменения удельного потребления электроэнергии (а) и средневзвешенного диаметра зерен руды (б) на выходе из MMC: 1 – MMC 90×2,8; 2 – TGL 5,0×2,3

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- удельные затраты электроэнергии зависят от частоты вращения барабана и его диаметра и для частоты вращения 10,33 и 12,5 1/мин соответственно для MMC 90×2,8 и TGL 5,0×2,3 их значения минимальны (см. табл. 1 и рис. 1,а);
- средневзвешенный диаметр зерен руды на выходе из MMC в зависимости от частоты вращения барабана изменяется в пределах 3,38–3,42 мм (MMC 90×2,8) и 2,95–3,2 мм (TGL 5,0×2,3) и имеют ярко выраженный минимум при частотах соответственно 10,33 и 12,5 1/мин (см. табл. 1, рис. 1,б);
- при оптимальных частотах вращения барабана 10,33 и 12,5 1/мин производительность мельниц по сравнению с рекомендованным при проектировании повышается на 15–20 %.

Литература

1. Гольдман А. А. Проблемы, тенденции развития горно-промышленного региона Западной Якутии / А. А. Гольдман, В. Ф. Монастырский, А. В. Юрченко. – М.: Спутник, 2007. – 250 с.
2. Монастырский В. Ф. Оптимизация режима мельниц самоизмельчения при обогащении алмазосодержащего сырья / В. Ф. Монастырский, С. В. Соловьев // Горный журнал: Известия ВУЗов. – 2004. – № 6. – С. 45–49.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВРЕЖДЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИ БОКОВОМ ТЕРМОСИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КОРПУС РАКЕТЫ

В.Г. Савченко

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины

Предлагается методика исследования повреждения твердого топлива при боковом термосиловом воздействии на корпус ракеты. Моделирование процесса повреждения проводилось с использованием разработок [1 и др.] по определению

неосесимметричного термонапряженного состояния слоистых тел вращения с учетом повреждения материала при деформировании.

В цилиндрической системе координат рассматривалось составное тело вращения, изготовленное из неупруго деформирующихся изотропных и ортотропных материалов, при неизотермическом нагружении объемными и поверхностными силами. Под составным телом подразумевалось дискретно однородное тело вращения, все составные части которого также являются телами вращения с общей осью вращения. Составные части тела, выполненные из разных материалов, скреплены между собой в начальный момент нагружения без натяга и на их общей границе выполняются условия идеально силового и теплового контактов. Предполагается, что изотропные материалы деформируются по траекториям малой кривизны. В качестве ортотропных материалов выбраны материалы, в которых одна из главных осей анизотропии совпадает с осью вращения рассматриваемого тела. Повреждение изотропного материала характеризуется одним параметром, который определяется из соответствующего кинетического уравнения с использованием кривых ползучести. Для оценки повреждения ортотропного материала, где предполагается отсутствие ползучести, вводится шесть параметров, которые определяются с использованием экспериментально полученных соотношений между соответствующими компонентами напряжений и деформаций. Используется вариационная постановка задач теплопроводности и термопластичности и полуаналитический метод конечных элементов. При записи определяющих уравнений тензор деформаций представляется в виде суммы тензоров упругой и пластической деформаций и деформаций ползучести. Они записываются в единой форме для изотропного и анизотропного материалов в виде обобщенного закона Гука для анизотропного тела с некоторыми дополнительными членами. Для конкретизации функциональной зависимости между интенсивностями напряжений и деформаций, температурой и временем предлагаются подходы, основанные на непосредственном использовании мгновенной термомеханической поверхности, диаграмм ползучести и диаграмм длительной прочности. Эти диаграммы задаются в виде экспериментальных данных, полученных при различных фиксированных значениях температуры на образцах, вырезанных в направлении главных осей анизотропии.

В качестве примера приведены результаты исследования повреждения твердого топлива при боковом термосиловом воздействии на корпус ракеты. Элемент ракеты представляется в виде трехслойного полого цилиндра, внутренний слой которого моделирует твердое топливо как анизотропный материал, внешний слой – корпус ракеты, изготовленный из титанового сплава. Теплоизоляционный промежуточный слой препятствует распространению тепла внутрь. Расчеты показали, что повреждение топлива вызывают в первую очередь тепловые напряжения в корпусе ракеты.

Литература

1. Savchenko V.G., Babeshko M.E. Thermostressed State of Layered Bodies of Revolution Damaging under Deformation // *Int. Appl. Mech.* – 2018. – **54**, N 3.–P. 287–305.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПОВТОРНО КОРОТКОЧАСНИМИ РЕЖИМАМИ РОБОТИ З ЧАСТОТНО-ЗАЛЕЖНИМИ ІНДУКЦІЙНИМИ РЕОСТАТАМИ

О.М.С'янов, О.С. Косухіна, Р.М.Поляков, О.В. Косухін

Дніпровський державний технічний університет

На підприємствах металургійної й хімічної галузей усе ще досить розповсюдженими є механізми, у яких використовуються асинхронні двигуни (АД) з фазним ротором і додатковими активними опорами. Багаторічний досвід експлуатації даних установок показує, що застосування пускових опорів у таких електроприводах призводить до цілого ряду негативних наслідків, серед яких: 1) необхідність використання великої кількості пускової апаратури; 2) наявність ковзних контактів, що виключають застосування подібних установок у приміщеннях з вибухонебезпечним середовищем; 3) істотне збільшення масогабаритних показників всієї системи. Зазначені недоліки призводять до тривалих простоїв і багаторазових ремонтів устаткування. У ситуації, що склалася підвищення надійності устаткування, в якому використовуються АД з фазним ротором можна вирішити шляхом вмикання індукційних реостатів (ІР) у коло фазного ротора АД [1]. Даний підхід дозволяє знизити кількість контактної апаратури, а при необхідності взагалі її позбутися.

Для сумісного дослідження АД з ІР розроблена математична модель, яка включає в себе АД, перетворювач частоти та ІР. У даній моделі АД не розглядаються процеси у шихтованих осередках статора й ротора, а диференціальні рівняння рівноваги напруги записані для лінійних напруг [2]:

$$\begin{cases} [u] = [r][i] + ([L(\gamma, i)] + [D(\gamma, i)]) \frac{d[i]}{dt} + [G(\gamma, i)] \frac{d\gamma}{dt} p[i]; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M - M_c}{J}; \\ \frac{d\gamma}{dt} = \omega_2; \\ -\nabla(v \nabla A) = \begin{cases} -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \text{в екрані ІР;} \\ \frac{N W_r i_{02}}{S W_r} - \text{в котушці ІР;} \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

де i - миттєві значення струмів у фазах; u - миттєві значення лінійних напруг; r - активні опори фаз; γ - кут повороту ротора відносно статора; p - число пар полюсів; ω_2 - кутова частота обертання ротора; J - момент інерції; M_c - статичний момент навантаження.

Матриця $[G(\gamma, i)]$ визначається шляхом диференціювання матриці $[L(\gamma, i)]$ за кутом повороту ротора, а $[D(\gamma, i)]$ за струмом :

$$\begin{aligned} [G(\gamma, i)] &= \frac{\partial [L(\gamma, i)]}{\partial \gamma}; \\ [D(\gamma, i)] &= \frac{\partial [L(\gamma, i)]}{\partial i}. \end{aligned} \quad (2)$$

Електромагнітний момент визначається за формулою:

$$M = L_\mu(i) p ([(2i_a + i_b) i_A + 2(i_a + i_b) i_B] \sin(p\gamma) + (i_A i_b - i_B i_a) \sqrt{3} \cos(p\gamma)).$$

Схема моделі АД з перетворювачем частоти та ІР представлена на рис.1.

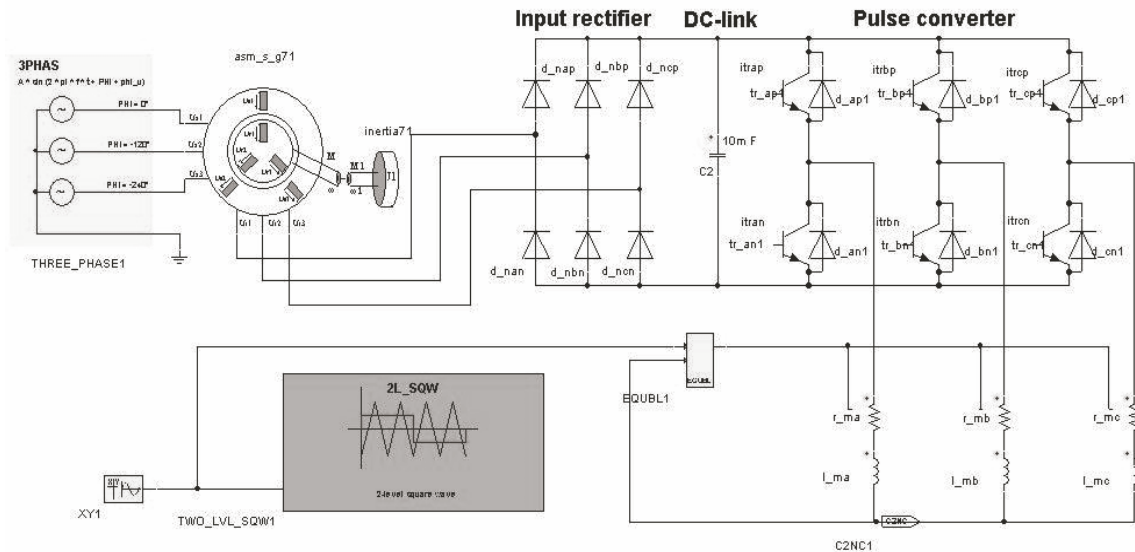


Рис. 1. Імітаційна модель АД з ІР

Модель складається з АД представленого рівняннями кола, перетворювача частоти який включає в себе некерований випрямляч, ланку постійного струму та інвертор. Індукційний реостат представлено активним опором котушки та індуктивністю розсіяння. Електромагнітні параметри екрана котушки ІР розраховуються методом поля в тривимірній постановці на кожному часовому кроці розрахунку перехідного процесу.

Моделювання виконано для кранового АТ МТВ-412-8 ($P_{ном} = 22$ кВт; $n_{ном} = 720$ об/хв; $\cos\varphi = 0,69$; $\eta = 83\%$; $I_{1ном} = 58$ А, $J = 3$ кгм²) при включенні обмоток зіркою. Частота напруги живлення в роторі змінювалася від 200 до 2 Гц на часовому інтервалі 0 - 2 с з кроком 10 Гц. На основі результатів дослідження побудовані графіки перехідних процесів струму ротора, електромагнітного моменту, швидкості, а також графік зміни опор ІР в роторі в залежності від частоти струму живлення

З результатів математичного моделювання ЕП встановлено, що зміна частоти струму живлення в роторному колі АТ МТВ-412-8 від 2 до 200 Гц призводить до розширення діапазону зміни опору ІР, який становить 0,45-7,6 Ом, і дозволяє обмежити величину пускових струмів АД. В подальших дослідженнях необхідно забезпечити автоматичне керування ІР в залежності від режиму роботи.

Література

1. Проектування асинхронних двигунів /А.П. Вербовой, П.Ф. Вербовой, О.М. С'янов – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. – 528 с.
2. Індукційні реостати з покращеними масогабаритними показниками для асинхронних двигунів з фазним ротором/О.В. Качура, С.В. Количев, О.М. С'янов - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. – 209 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПЕРЕЧНИХ І ПОЗДОВЖНІХ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ

Л.П.Зінчук, В.Л.Карлаш

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ

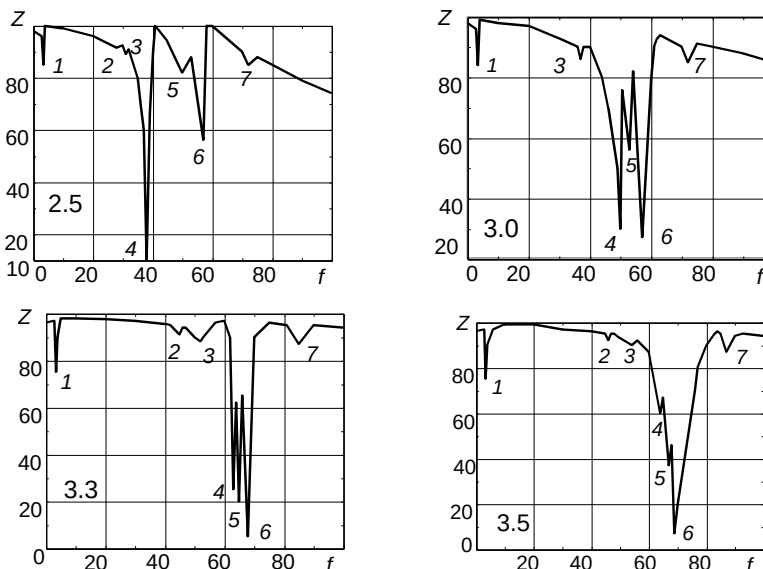
Доповідь присвячена аналізу результатів експериментального дослідження вимушених коливань п'єзоелектричних резонаторів прямокутної форми з використанням методу так званого характеристичного трикутника [1].

Була запропонована й реалізована удосконалена схема Мезона з комутатором, яка дає можливість послідовно вимірювати спади напруг: на дослідному п'єзоелементі U_{pe} , увімкнутому послідовно з ним резисторі навантаження U_R і на вході схеми вимірювання U_{in} . Величини вимірюваних напруг разом із відповідними до них частотами f і резистором навантаження R використовуються для знаходження повної провідності Y_{pe} , її активної Y_{ac} і реактивної Y_{re} компоненти, миттєвої потужності P_{pe} , вхідного імпедансу Z_{pe} , фазових зсувів між струмом і напругами за формулами [1]

$$Y_{pe} = \frac{I_{pe}}{U_{pe}} = \frac{U_R}{RU_{pe}}, Y_{ac} = Y_{pe} \cos \alpha, Y_{re} = Y_{pe} \sin \alpha = Y_{pe} \sin(\arccos \alpha);$$

$$\cos \alpha = \frac{U_{pe}^2 + U_R^2 - U_{in}^2}{2U_{pe}U_R}, P_{pe} = U_{pe}I_{pe} = \frac{U_R U_{pe}}{R}; Z_{pe} = \frac{1}{Y_{pe}};$$

Форми АЧХ вимушених коливань прямокутної пластини перш за все визначаються відношенням довжини l до ширини w пластини. На рисунку наведені АЧХ вхідного імпедансу пластини довжиною 88 мм із п'єзокераміки ЦТС–19 для відношень $l/w = 2,5; 3,0; 3,3; 3,5$. Цифрами позначено номери зареєстрованих мод. Встановлено, що АЧХ вимушених коливань демонструють суттєву залежність від відношення l/w .



1. Karlash V. L. Energy losses in piezoceramic resonators and its influence on vibrations' characteristics // Electronics and communication. – 2014. – **19**, N 2 (79). – P. 82 – 94.

INFLUENCE OF THE LOADING CONDITIONS ON THE FORCED VIBRATIONS FOR THIN PIEZOCERAMIC BARS

V.L.Karlash, L.P.Zinchuk

*S. P. Timoshenko Institute of Mechanics, the National Academy of
Sciences of Ukraine*

The report is devoted to analyze of the experimental and calculate results, received on the authors' investigations of the longitudinal thin piezoceramic bars with transverse polarization vibrations. Influence of loading conditions – constant current, voltage or instant power amplitude was studied too. Authors established that piezoelectric sample's full conductivity is its capacity reactive conductivity produced on anti-resonant to resonant determinant ratio. Calculations of admittance, coupling coefficients, mechanics and piezoelectric loss tangents were provided on the base of new simple calculate-experimental iterative methodic [1].

In experiment the idea of duty measure of voltages in modern Meson's schema is developed and new phase shifts determine methodic is elaborated [2].

Piezoelectric elements' vibrations characterize by great electromechanical coupling, elastic displacements and stresses. The internal physical processes nature in such bodies drives to the fact that displacements, strains, stresses, powers, admittance and impedance have both real and imaginary parts.

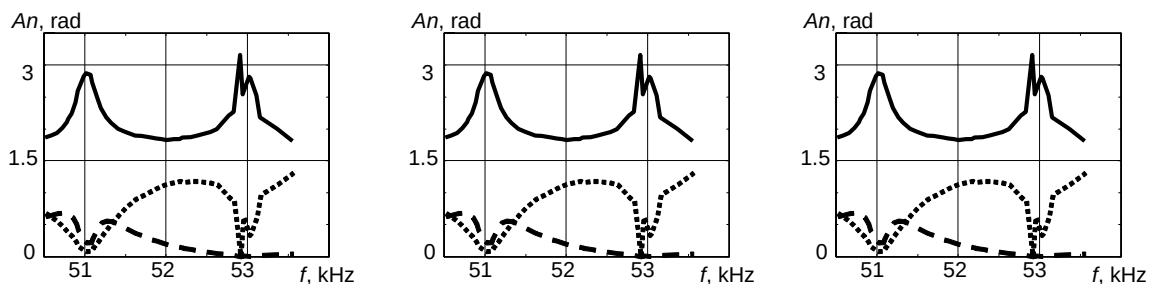


Fig.1

Fig. 1 demonstrates phase-frequency relations obtained for piezoceramic bar from material TsTBS-3 with size 33,4 * 5,8 * 1,25 mm near fundamental vibration mode. Graphs are plotted for three electric loading regimes “as is” (left), constant sample current (centre) and constant sample voltage (right). Angle α (dot line) characterizes a phase shift between piezoelement's current and voltage. Angle β (dashed curve) is according to phase shift between output generator voltage and consuming current. At least, angle γ (solid line) is phase shift between output generator voltage and sample's voltage. It is easy to see that phase shifts between piezoelement's current and voltage rather than between output generator voltage and sample's voltage at resonance are zero. All graphs exhibit that phase shifts are not dependent from loading conditions.

1. Karlash V. L. Energy losses in piezoceramic resonators and its influence on vibrations' characteristics // Electronics and communication. – 2014. – **19**, N 2 (79). – P.82 – 94.
2. Karlash V. L. Particularities of amplitude-frequency characteristics of admittance of thin piezoceramic half-disk // Int. Appl. Mech. – 2009. – 45, N 10. – P. 647 – 653.

МЕТОД ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ТЕЧІЙ У ОБЛАСТЯХ, ЩО МІСТЯТЬ ВОДОНЕПРОНИКНІ ВКЛЮЧЕННЯ

О.Р.Подгорний, М.В.Сидоров

Харківський національний університет радіоелектроніки

Фільтраційні течії, тобто течії рідини в пористому середовищі, широко розповсюджені у природі і народному господарстві: до розгляду таких течій приходять при дослідженні процесів зрошення чи осушення, втікання морської води в прісну, обтікання гідротехнічних споруд тощо.

Розглянемо плоску стаціонарну задачу напірної фільтрації у області, що містить водонепроникне включення (лінзу). Нехай $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$ – вектор швидкості фільтраційного потоку і можна вважати виконаним закон Дарсі. Аналіз плоских течій зручно проводити за допомогою функції течії $\psi(x, y)$, яка вводиться рівностями

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Нехай область фільтрації Ω обмежена непроникними межами $\partial\Omega_1, \partial\Omega_3, \partial\Omega_0$ ($\partial\Omega_0$ – межа водонепроникного включення Ω_0), які є лініями течії, та двома межами водойми $\partial\Omega_2$ і $\partial\Omega_4$, які є потенціальними лініями (рис. 1).

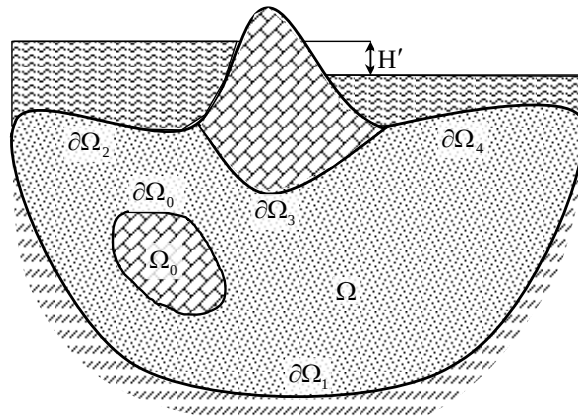


Рис. 1. Область фільтрації

Тоді функція течії $\psi(x, y)$ є розв'язком крайової задачі

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) = 0 \quad \text{у } \Omega, \quad (1)$$

$$\psi|_{\partial\Omega_1} = 0, \quad \psi|_{\partial\Omega_3} = Q, \quad \psi|_{\partial\Omega_0} = c, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_2} = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_4} = 0, \quad (3)$$

де $\kappa = \kappa(x, y)$ – коефіцієнт фільтрації, $\mathbf{n}$ – зовнішня нормаль до відповідних ділянок межі, H' – діючий напір, Q – повни витрати рідини, c – деяка стала.

Для визначення величини повних витрат Q слід використати інтегральне співвідношення

$$\int_{\partial\Omega_3} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}} ds = -H', \quad (4)$$

де H' – діючий напір. Стала c в свою чергу знаходиться з інтегрального співвідношення

$$\int_{\partial\Omega_0} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}} ds = 0. \quad (5)$$

Для розв'язання задачі (1) – (5) скористаємося принципом суперпозиції та структурно-варіаційним методом (методом R-функцій). Відповідно до принципу суперпозиції розв'язок задачі (1) – (5) шукатимемо у вигляді

$$\psi(x, y) = Qu_1(x, y) + cu_2(x, y), \quad (6)$$

де $u_1(x, y)$ – розв'язок задачі

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial u_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial u_1}{\partial y} \right) = 0 \text{ у } \Omega, \quad (7)$$

$$u_1|_{\partial\Omega_0 \cup \partial\Omega_1} = 0, \quad u_1|_{\partial\Omega_3} = 1, \quad \frac{\partial u_1}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_2 \cup \partial\Omega_4} = 0, \quad (8)$$

а $u_2(x, y)$ – розв'язок задачі

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial u_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\kappa(x, y)} \frac{\partial u_2}{\partial y} \right) = 0 \text{ у } \Omega, \quad (9)$$

$$u_2|_{\partial\Omega_1 \cup \partial\Omega_3} = 0, \quad u_2|_{\partial\Omega_0} = 1, \quad \frac{\partial u_2}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_2 \cup \partial\Omega_4} = 0. \quad (10)$$

Нехай функції $\omega(x, y)$, $\omega_i(x, y)$, $i = 0, 1, 2, 3, 4$, побудовані за допомогою конструктивного апарату теорії R-функцій, є такими, що:

$$\omega(x, y) = 0 \text{ на } \partial\Omega; \quad \omega(x, y) > 0 \text{ у } \Omega; \quad \frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega} = -1,$$

$$\omega_i(x, y) = 0 \text{ на } \partial\Omega_i; \quad \omega_i(x, y) > 0 \text{ у } \Omega \cup (\partial\Omega \setminus \partial\Omega_i); \quad \frac{\partial \omega_i}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{\partial\Omega_i} = -1, \quad i = 0, 1, 2, 3, 4.$$

Тоді повними структурами розв'язку задач (7), (8) і (9), (10) є відповідно жмутки функцій

$$\begin{aligned} u_i = & f_i - \frac{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3 \cdot \omega_2 \wedge_\alpha \omega_4}{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3 + \omega_2 \wedge_\alpha \omega_4} D_1^{(2,4)} f_i + (\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3) \Phi_i - \\ & - \frac{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3 \cdot \omega_2 \wedge_\alpha \omega_4}{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3 + \omega_2 \wedge_\alpha \omega_4} D_1^{(2,4)} ((\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 \wedge_\alpha \omega_3) \Phi_i), \quad i = 1, 2, \end{aligned} \quad (11)$$

де $\Phi_i = \Phi_i(x, y)$, $i = 1, 2$, – невизначені компоненти структур, а

$$\begin{aligned} f_1 = & \frac{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1}{\omega_0 \wedge_\alpha \omega_1 + \omega_3}, \quad f_2 = \frac{\omega_1 \wedge_\alpha \omega_3}{\omega_1 \wedge_\alpha \omega_3 + \omega_0}, \\ D_1^{(2,4)} g = & \frac{\partial(\omega_2 \wedge_\alpha \omega_4)}{\partial x} \frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial(\omega_2 \wedge_\alpha \omega_4)}{\partial y} \frac{\partial g}{\partial y}. \end{aligned}$$

Для апроксимації невизначених компонент структурних формул (11) можна скористатися якимось варіаційним методом (наприклад, методом Рітца).

Після розв'язання задач (7), (8) і (9), (10) невідомі сталі Q і c відповідно до (4), (5) знаходимо з системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$Q \int_{\Omega_3} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial u_1}{\partial \mathbf{n}} ds + c \int_{\Omega_3} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial u_2}{\partial \mathbf{n}} ds = -H', \quad Q \int_{\Omega_0} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial u_1}{\partial \mathbf{n}} ds + c \int_{\Omega_0} \frac{1}{\kappa} \frac{\partial u_2}{\partial \mathbf{n}} ds = 0.$$

Отже, отримано розв'язок задачі (1) – (5) у вигляді (6)

МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СТВОРЕННЯ ВУЗЛІВ З'ЄДНАННЯ БАГАТОКООРДИНАТНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ВІБРОСТЕНДІВ

В.П. Шпачук¹, О.О. Чупринін¹, М.А. Засядько¹, В.В. Дудко²

¹Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

²Державне підприємство "ХКБМ" ім. О.О. Морозова, Харків

Вібраційні випробування належать до одного з головних видів дослідження конструкцій, машин, вузлів і блоків виробів на механічні впливи, метою яких є визначення здатності виробу виконувати свої функції в межах установлених норм, а також їхньої спроможності протистояти руйнівальному впливу вібраційних навантажень, що створюються під час нього [1]. В експлуатації більшість об'єктів машинобудування та транспортної техніки піддаються впливу просторової вібрації. Тому задача створення стендів, що відтворюють в лабораторних умовах зовнішнє вібраційне багатокоординатне навантаження на об'єкт випробувань при дослідженні його вібронадійності, займає важливе місце в вібраційній техніці. В роботі досліджено приклади з'єднання столів віброзбудників з платформою просторових стендів кінематичного принципу дії, а також платформи з нерухомою основою, які реалізовано у вигляді механічних вузлів. Останні виконано як у вигляді пакетів напівциліндричних стрічкових пружних елементів, так і у вигляді пакетів плоских пружних елементів. Перевагою вузлів з'єднання, що розглянуто, є простота виготовлення і експлуатації, відсутність витрат додаткової енергії на підтримання працездатності, лінійність характеристики жорсткості вузла в напрямку вібрації, що передається, й відсутність взаємовпливів між координатами стенда. Показано, що у вузлів, які реалізовано у вигляді пакетів напівциліндричних стрічкових пружних елементів остання властивість забезпечується присутністю роликів, що натягують, а також особливою формою кожного пакетного елемента. Крім того, одночасним згином окремого стрічкового елемента в двох площинах, а також одночасним зсувом і розтягненням. Встановлено залежність зусилля, що передається від вібраційного збудника коливань до платформи просторового стенда, на якому закріплюється об'єкт випробувань, від кількості пакетів та плоских елементів в кожному пакеті. Досліджено вплив геометричних характеристик елемента (узагальненої довжини, ширини й площі окремих частин елемента) на параметри жорсткості вузла в цілому. Також визначено, враховуючи, що кожна пластина поділена на фрагменти, які відносяться з точки зору будівельної механіки до балок, які деформуються у двох напрямках, умови стійкості фрагмента й пластини в цілому.

Питання вібраційної надійності обох типів вузлів з'єднання визначено з урахуванням тривалості випробувань, відповідно до нормативних вимог. На практиці у якості вертикального використовувався електродинамічний стенд ВЕДС-1500, а горизонтального – ВЕДС-200. При цьому тривалість випробувань скоротилась на відміну від існуючих сьогодні випробувань на втомне руйнування за ДСТУ для вузлів машинобудування. В результаті вузол, що випробувано, був схильний до дії вібраційного навантаження в умовах нормативного навантаження в два рази коротше.

В експлуатації більшість об'єктів гірничого машинобудування, приладобудування, авіаційної, космічної та транспортної техніки піддаються впливу просторової вібрації. Тому задача створення стендів, що відтворюють в лабораторних умовах зовнішнє вібраційне багатокоординатне навантаження на об'єкт випробувань при дослідженні його вібронадійності, займає важливе місце в вібраційній техніці.

Література

1. Shpachuk V. P. Investigation of stress-strain state of packet node connection in spatial vibration shakers / V. P. Shpachuk, M. A. Zasiadko // *Naukovyi Visnyk NHU.* – 2018. – No. 3, pp. 74 – 79.

УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ РІЗАННЯ ТА ПОДАЧЕЮ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІД ЧАС УТИЛІЗАЦІЇ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

О.О.Сасов, Д.О.Павлюченко

Дніпровський державний технічний університет

Процес різання зовнішні проявляється як процес зношування ріжучого інструменту, а проблема забезпечення управління режимними параметрами зводиться до математичного опису функції швидкості зношування інструменту, технологічних обмежень, функціоналів якості управління та вибору і адаптації математичних методів оптимізації. Вирішення проблеми управління режимними параметрами сприяє підвищенню ефективності механічної обробки різанням та доповнює математичне та інформаційне забезпечення систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) які використовуються під час утилізації зношених автомобільних шин..

Рішення загальних задач управління режимними параметрами розрізання зношених шин навіпіл запропоновано знаходити на основі загальних положень математичної теорії оптимальних процесів та теорії управління. В якості керуємого процесу розглядається процес зношування задніх поверхонь ріжучого інструменту. Основне завдання оптимального управління – вибір способу управління зі всіх можливих, для якого інтегральний функціонал якості управління приймає найменше значення при одночасному збільшенні фазової координати (лінійного зносу по задній поверхні) від h_{z0} до h_{zmax} .

Сформульовану постановку задачі можна представити системою нелінійних диференціальних рівнянь:

- швидкість зношування ріжучого інструменту

$$f_1 = \frac{dx_1}{d\tau} = \frac{dh_z}{d\tau} = \text{Int}(h_{zn}, v_n, s_n, \tau) \Big|_{t_n = \text{const}}; \quad (1)$$

- інтегральний функціонал якості управління

$$x_0 = \int_0^{T_v} f_0(h_{zn}, v_n, s_n, T_v) d\tau = \sum_{j=1}^{N_v} C_{pj} t_{0j} \rightarrow \min \quad (2)$$

де h_{zn} – лінійний знос по задній поверхні ріжучого інструменту; v_n – швидкість різання; s_n – подача ріжучого інструменту; Int – функція зношування ріжучого інструменту;

T_v – заданий час обробки; N_v – число точок управління; C_{pj} – змінна частина собівартості розрізання шини навпіл; t_{0uj} – крок за часом обробки, який визначає число точок управління.

Функція Гамільтона-Понтрягіна пов'язує цільову функцію (2) та швидкість зношування ріжучого інструменту (1) через парні змінні $\Psi_0 \Psi_1$:

$$H = \Psi_{0j} f_0(h_{zn}, v_n, s_n, T_v) + \Psi_{1j} f_1(h_{zn}, v_n, s_n, \tau) \quad (3)$$

Розрахунок значень швидкості різання та подачі в кожній точці управління виконано у відповідності з принципом максимуму Понтрягіна: $H \rightarrow \max$. У якості робочого алгоритму прийнята мінімізація функції – H :

$$f_u = -H \rightarrow \min, \quad (4)$$

де H – функція Гамільтона-Понтрягіна (3).

Встановлено, що вибір початкового значення парної змінної Ψ_{1n} дозволяє змінити швидкість процесу зносу ріжучого інструменту, при цьому зменшення цього значення призводить до зменшення швидкості зношування, тобто до збільшення часу роботи ріжучого інструменту. Підбиранням початкового значення змінної Ψ_{1n} можна досягти того, що для заданого часу обробки T_v знос досягне максимально допустимого значення h_{zmax} .

В результаті проведеної роботи визначені закономірності зміни режимних параметрів під час розрізання навпіл зношених автомобільних шин 195/65R15 діаметром 662 мм ріжучим інструментом зі сплаву P6M5

MODELING THE CRYSTALLIZATION OF THE STEEL INGOT

T. Zh.Nadryhailo, B. A.Boris

Dniprovsk State Technical University

Castings or ingots are produced by casting an alloy of the indicated composition into a mold, the internal cavity of which corresponds to the configuration and dimensions of the future product. The metal crystallizes and acquires the contours of the cavity in which it was poured. The stage of obtaining cast billets (ingot) is included in most of the existing processing technologies of metals. Thus, the most effective is the casting technology, which allows to obtain products of the desired size, configuration, melt properties with minimal energy, materials and labor.

Identification of the main laws of formation of the crystal structure, physical and chemical inhomogeneities is of great importance for the search for optimal conditions for the formation of high-quality ingots and castings. The structural and chemical heterogeneity of the structure of ingots and castings significantly affects the mechanical and physical properties of the cast metal.

Physical inhomogeneities of the type of micropores is formed in the ingot due to the dissolved gases and the flow of the melt through the transition zone, which is caused by shrinkage during the phase transition.

From the works of famous scientists-metallurgists Yu. A. Samoilovich, V.I. Timoshpolsky, V.A. Efimov and others, it is possible to specify the basic requirements for the quality of the ingot:

- the ingot should have a homogeneous dendritic structure,

- the same chemical composition with minimal interdendritic and zonal liquation,
- the ingot must have no surface defects,
- the zone of subcortical porosity and other defects should be minimal,
- the nonmetallic inclusions arising in the course of crystallization must be finely divided and evenly distributed in volume,
- the cast grain should be fine and equiaxial, without metallic and non-metallic inclusions.

The quality of steel can be defined as a set of physical, chemical, technological properties. Depending on the predominance of some properties over others, the steel receive an appropriate classification. The set of properties of steel is determined by the chemical composition of the alloy, and the structure of the metal. Also, the quality of steel can be determined by the dependence of the content of harmful impurities and non-metallic inclusions in the melt, the smaller the number of harmful impurities and non-metallic inclusions contained in the steel, the higher its quality. First of all, harmful to steel is the impurity of sulfur, phosphorus and gases.

After the ingot is filled, the hydrodynamic action of the jet ceases, and the processes of solidification come to the fore. The hardening of the melt leads to its shrinkage.

This leads to the emergence of gravitational convection, which is generated by individual moving crystals, which appear in the melt and freely settle in the direction of the bottom of the mold, forming a heterogeneity of the physical structure of the ingot - the cone of deposition. On the other hand, shrinkage leads to the formation of shrink holes. The thermophysical characteristics of a profitable extension determine its depth and shape. The purpose of this work is to develop a software tool using a generalized mathematical model that takes into account the formation of chemical and structural inhomogeneities, in particular the shrinkage shell and the cone of deposition of fine crystals for a steel ingot, with which you can numerically study the model and identify the most influential factors.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МАСИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ

О. Д. Романюк, О. Є. Кравчук

Дніпровський державний технічний університет

В даній роботі представлена коротка інформація про аналіз впливу основних геометричних параметрів механічної передачі на вибір оптимальної маси зубчастого колеса яка б відповідала маховому моменту маховика на етапі попереднього проектування з метою стабілізації кінематичних та динамічних характеристик машинного агрегату без використання додаткових мас.

Особливість проектування зубчастої передачі при умові її оптимізації полягає в тому, що кількість невідомих величин проектування набагато більше ніж рівнянь зв'язку, що суттєво ускладнює і без того багатоваріантність задачі. Тому ставилась задача зменшити число невідомих, використовуючи інші міркування, чи допускаючи їх зміну в деяких межах, а також встановлення впливу відповідних параметрів на характер зміни маси зубчастого колеса в процесі його проектування.

Враховуючи, що маса зубчастого колеса механічної передачі залежить від шістки основних перемінних величин проектування: передаточного відношення редуктора i ; нормального модуля зачеплення m_n ; кількості зубів шестерні z_1 ; куту нахилу зуба β ; коефіцієнта ширини зубчастого колеса по міжосьовій відстані ψ_{ba} ; питомої ваги

матеріалу зубчастого колеса ρ , встановлено можливість зниження кількості перемінних величин, а також характер впливу відповідних параметрів на масу зубчастого колеса при його оптимізації.

Встановлено, що маса шестерні m_1 зубчастої передачі практично не змінюється для одного і того ж передаточного відношення, не залежно від зміни коефіцієнту ширини вінця зубчастого колеса по міжосьовій відстані та куту нахилу зуба. Відповідно, на етапі початкового проектування, вирішуючи задачу оптимізації маси зубчастого колеса параметри ψ_{ab} і β можна не підбирати, що обумовлює зниження кількості невідомих в процесі проектування до трьох. Згідно даного висновку основними параметрами проектування залишаються m_n , i , z . В даному випадку m_n може виступати як неявно змінна характеристика яка обумовлює зміну коефіцієнта маси зубчастого колеса A . Таким чином коефіцієнт A дає можливість суттєво спростити процес вибору оптимальної маси зубчастого колеса на етапі початкового проектування, яка б відповідала необхідному маховому моменту. Вибір параметрів які були виключені в процесі початкового проектування m_n , ψ_{ab} і β вибираються із відповідних стандартних та технологічних вимог та залежностей при розрахунку геометричних параметрів передачі.

Характер зміни маси зубчастого колеса від коефіцієнта маси зубчастого колеса згідно досліджень суттєво залежить тільки від величини передаточного відношення механізму i та кількості зубів зубчастого колеса z .

Результати досліджень залежності m від A при відповідній зміні параметрів i та z дають можливість підібрати таку масу зубчастого колеса прямозубої, чи передачі з косим зубом маховий момент якого забезпечував би стабілізацію кінематичних та динамічних характеристик машинного агрегату, що дає можливість уникнути використання додаткових махових мас особливо для швидкохідних та транспортних механізмів.

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОКРИСТАЛІВ

Є.В.Косенко, А.Є.Шевельова

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

П'єзoeлектричні матеріали знайшли застосування в широкому ряді областей, таких як медичні інструменти, контроль промислових процесів, системи виробництва напівпровідників, побутових електричних приладах, системах контролю зв'язку, різних вимірювальних приладах, мікроелектроніці. Комерційні системи, які використовують п'єзoeлектричні матеріали – помпи, швейні машини, датчики (тиску, зледеніння, кутових швидкостей і т.д.), оптичні інструменти, лазерні принтери, мотори для автофокусування камер і багато інших. При цьому область застосування даних матеріалів постійно зростає.

Актуальним завданням є проведення досліджень з метою ідентифікації невимірюваних параметрів п'єзoeкристиалу, таких як поверхневий натяг і енергія активації атомного зрушення в кристалічних решітках по спостережуваному експериментальному значенню струму перемикання.

Сформулюємо задачу ідентифікації як задачу мінімізації

$$(\tilde{\alpha}, \tilde{I}) = \arg \min_{(\alpha, I) \in [\alpha^-, \alpha^+] \times [I^-, I^+]} J(\alpha, I), \quad (1)$$

де відрізки зміни значень параметрів α та I обираються із фізичних міркувань. Цільова функція $J(\alpha, I)$ має вигляд:

$$J(\alpha, I) = \sum_{k=0}^n (j(t_k) - j^*(t_k))^2, \quad (2)$$

де $j(t)$ – струм перемикавання, що відповідає значенням α та I , $j^*(t)$ – відомі значення струму перемикавання.

Функція $j(t)$ обчислюється за формулою:

$$j(t) = - \frac{2P_{z10}(\varepsilon_0 - \xi(t) - \tau\xi'(t))(1 - Z(t))}{\tau(P_{z2}/P_{z10} - 1 - \xi(t))}, \quad (3)$$

де ε_0 , P_{z2} , P_{z10} , τ – відомі константи.

Функції, які необхідні для обчислення струму перемикавання $j(t)$, знаходяться за результатами розв'язання жорсткої системи звичайних диференціальних рівнянь вигляду:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \begin{cases} \varepsilon(0) - y_2(t)y_0(t)(P - 1 - y_0(t))/(1 - y_1(t)) + y_0(t)/\tau, \\ y_0(t)y_2(t), \\ y_0(t)y_3(t), \\ I_0\sqrt{y_0(t)}\exp\left(\frac{-\alpha}{y_0(t)}\right), \end{cases} \quad (4)$$

де $P = P_{z2}/P_{z10}$, $\varepsilon(0) = \varepsilon_0/\tau$, $y_0(t) = \xi(t)$, $y_1(t) = Z(t)$, $y_2(t) = \xi'(t)$.

При проведенні чисельних експериментів жорстка система звичайних диференціальних рівнянь розв'язана одностадійним методом Розенброка, а задача мінімізації – методом покоординатного спуску.

ВИКОРИСТАННЯ САН МЕРЕЖІ І КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ ПЕРЕДНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

К. О Сорока

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

Адаптивна система переднього освітлення (далі – АСПО) транспортних засобів (далі – ТЗ) прийнята Україною в 2007 р., в якості рекомендацій ООН. Вона устанавлює регламент роботи системи освітлення в нічний час і забезпечує якісне освітлення дороги при русі ТЗ по звивистим дорогам. За попередніми даними система забезпечує, зниження аварійності до 40%.

В склад АСПО входять фари, виконані у вигляді мехатронних модулів, із механічним приводом. Вони виконують перерозподіл світлового потоку під час руху

ТЗ по дорозі з поворотами. Керування здійснює комп'ютер, або система контролерів, з використанням CAN мережі. В ряді наукових робіт відчається, що CAN мережа зумовлює відставання процесу керування, в результаті чого недостатнього освітлюються повороти дороги. Пропонується інші методи керування, наприклад за допомогою систему контролерів ARDUINO.

У запропонованій роботі виконано аналіз процесів передачі сигналів та пакетів команд (фреймів) в CAN мережі. Відповідно методів доступу до комп'ютерної мережі проведена статистика виникнення конфліктів під час передачі даних. Показано, що в мережі, у якій є ранжування і надаються переваги передачі фреймів вищого рангу, в разі зростання завантаження фрейми нижчих рангів не можуть бути передані. Для запобігання цього необхідно ввести випадкову затримку часу перед початком передачі кожного фрейму, наприклад розподілену згідно нормального закону. Тоді методи доступу забезпечують в CAN мережах стандартом 1 Мбіт/с та 500 Кбіт/с. передачу до 3200, або 1600 команд керування за секунду та одержання квитанції про їх виконання.

Системи АСПО для вироблення команд керування використовують покази датчиків повороту рульового колеса ТЗ, дані вимірювання швидкості, положення гальм, акселератора, тиску в гідросистемі. Також використовуються одержані системою супутникової навігації GPS дані профілю дороги перед ТЗ. Додатково в сучасних системах використовуються відеокамери, які здійснюють огляд шляху перед ТЗ і комп'ютерні системи розпізнавання образів, системи нічного бачення, які дозволяють не тільки освітити дорогу перед ТЗ але і забезпечити виділення людей, живих істот направленим пучком світла, в разі їх появи на проїжджій частині дороги.

В результаті досліджень показано, що швидкодія CAN мережі повністю достатня для забезпечення роботи AFS, навіть з врахуванням усього відміченого вище обладнання ТЗ. Крім того, існує практика встановлення декількох додаткових CAN мереж в ТЗ, наприклад CAN мережу комфорту.

ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ СТЕГANOГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

О.О.Шумейко, М.О.Веремейченко

Дніпровський державний технічний університет

Стеганографічні методи, які використовують в якості контейнера мультимедійні файли, часто засновані на заміні молодшого біта оригінальних даних на бітову маску вкладки. При такому підході змінюється закон розподілу бітів. Для того щоб істотно не порушувати структуру оригінальних даних, використовується або псевдовипадкове заповнення, або проводиться аналіз функції щільності розподілу оригінальних даних і заповнення контейнера проводиться відповідно до з'ясованого закону. Запропоновано метод вкладки даних у фрагменти зображення з високим рівнем некорельованності, що відповідає визначенню високого рівня фрактальності. Вкладення прихованих даних тільки в ті фрагменти, де дані найменш структуровані, дозволяє реалізувати більш надійне вкладення. Так як дана робота присвячена завданню кодування молодшого біта, надалі будемо вважати, що всі дані булеві, тобто приймають одне з двох значень двійкової множини.

Існує багато способів визначення фрактальної розмірності, як для контурних зображень і ламаних ліній, так і безпосередньо, для скалярних полів. Очевидно, що перші два варіанти сильно загрублюють оцінку фрактальних розмірностей в разі роботи

з кольоровими растровими зображеннями реальних об'єктів, тому було обрано саме останній варіант. В даний момент існує порівняно багато алгоритмів використання у стеганографії різного роду фрактальних методів, наприклад, приховування даних в окремі блоки - ділянки зображення з найбільшою фрактальною розмірністю. Існує навіть вельми несподівана реалізація - приховування даних безпосередньо в зображення фракталу, де коефіцієнти, що задають вихідний фрактал є ключем, без якого витяг повідомлення цим же методом стає неможливе.

Запропоновано підхід, заснований на визначенні фрактальної розмірності околу кожного пікселя зображення і вкладення даних в окремі пікселі за ознакою їх фрактальних розмірностей. В цьому ж і полягає основна новизна нашого підходу - зв'язати області вкладення з характеристикою кожного окремого пікселя. Цей підхід дає можливість «розкидати» елементи повідомлення по зображенню так, щоб як їх послідовність, так і сам факт їх вкладення був складно доступним без глибокого фрактального аналізу зображення.

Для реалізації цього було вирішено вкладати інформацію в молодші два біта пікселів, що мають найбільшу фрактальну величину, яка повинна певною мірою корелювати з високою фрактальністю ділянки зображення. Для отримання фрактальної характеристики кожного пікселя було використано три методи - TriangularPrismSurfaceArea, 2D VariationProcedure і броунівський метод, які застосовувалися до дельта-околу кожного пікселя зображення в градаціях сірого. Отримані таким чином значення характеризували ступінь вкладеності даної області - околу - в самого себе. До пікселів, які лежать біля краю зображення ближче, ніж на радіус дельта-околу ці методи не застосовувалися, щоб уникнути спотворення картини фрактальних величин уздовж країв зображення.

Дослідження на тестовій базі TID-2008 показали, що якість вибору множини вкладення з використанням тієї чи іншої фрактальної характеристики відрізняються несуттєво.

ПОБУДОВА АДАПТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОШУКУ

О.О.Шумейко, Б.І.Щербинський

Дніпровський державний технічний університет

Організація пошуку документів за інформаційним запитом займає важливе місце у Data Mining і є ключовою складовою Data Text. Безумовно, що для всесвітньої мережі для цієї мети існують більш-менш відомі методи, починаючи від класичного PageRank до Google RankBrain, Bing Custom Search або Баден-Баден від Яндекс. Але у разі організації пошуку у локальному сховищі, принципи, закладені для глобальної мережі, не підходять, що пов'язано, поперед всього, зі структурою Інтернет - документів та зі зворотними посиланнями. Одним з найчастіше використовуваних методів пошуку у локальних сховищах є алгоритм TF/IDF, для якого критерієм якості відношення документу d до інформаційного запиту $S = \{s_i\}$ (s_i - словоформа запиту) є $score(S, d) = \sum_{s \in S} IDF(s) \times \frac{TF(d, s)}{|d|}$ де $TF(d, s_i) = n_i / \sum_k n_k$, $IDF(s_i) = \log \frac{|D|}{|d \supset s_i|}$ та n_i частота зустрічі словоформи у відповідному документі.

Запропоновано для вирішення задачі пошуку та побудови рейтингу документів у відповідності з інформаційним запитом, використати ансамбль класифікаторів з

перебудовою моделі його навчання згідно зі сферою інтересів клієнту, який проводить відповідний пошук.

Використано чотири класифікатори - TF/IDF, Окарі BM25, векторний класифікатор (в якості критерію близькості використовується косинус кута між векторами, які відповідають документам) та метод, розроблений авторами на основі значення приросту ентропії.

Ідея цього алгоритму складається в аналізі величини приросту ентропії

$$H(D_k, S) = H(D_k) - \sum \left\{ \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} H(D_k, s_i) \mid s_i \in S \right\},$$

де

$$H(D_k, s_i) = - \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} \log_2 \frac{\text{num}(s_i)}{N_k} - \frac{N_k - \text{num}(s_i)}{N_k} \log_2 \frac{N_k - \text{num}(s_i)}{N_k}$$

величина ентропії документу D_k відносно слова s_i з інформаційного запиту S .

Тут N_k – загальне число слів у документі D_k , а $n_i^k = \text{num}(w_i^k)$ – число входжень слів w_i^k у даний поточний документ ($\text{num}(s)$ – число входжень слова s). Чим більше буде значення приросту ентропії, тим більше наш документ буде відрізнятися від інформаційного запиту.

Під час аналізу документів відносно інформаційного запиту, рейтинг $R_i(d, S) (i = 1, 2, 3, 4)$, який виставляє кожен класифікатор, нормуємо у $[0, 1]$, де одиничка відповідає максимально можливому рейтингу, а 0 – абсолютна несхожість. Результат класифікації дає лінійна комбінація (чим більше значення $\rho(d, S)$, тим більша відповідність документа інформаційному запиту)

$$\rho(d, S) = \sum_{i=1}^4 \omega_i R_i(d, S),$$

де ω_i вага відповідного методу. На першому кроці всі значення $\omega_i = 1 (i = 1, 2, 3, 4)$. При кожному подальшому використанні пошуку, під час вибору документів, які найбільш зацікавили користувача, збільшується вага класифікатору, який дає більш відповідні результати.

ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ НЕОДНОРІДНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ СТРИЖНІВ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ ПЕРЕРІЗІВ

М.І.Войтович, Х.І. Ліщинська, А.П.Сеник

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

Підвищення робочих температур енергетичних і транспортних установок, інших машин та інженерних споруд, а також виникнення ситуацій техногенного характеру, зумовило збільшення інтересу до дослідження термонапруженого і деформованого станів стрижневих елементів різної геометрії – прямолінійних, криволінійних, закручених тощо.

Достатньо повне дослідження роботи конструкцій та інженерних споруд в умовах нагріву передбачає спочатку розв'язування відповідної задачі теплопровідності. Такий підхід дає можливість більш точно враховувати реальні умови експлуатації, вивчати вплив теплофізичних параметрів на напружено-деформований стан досліджуваних

систем, а також формулювати задачі оптимізації деформівних систем з вибором в якості функцій керування величини, що характеризують умови нагріву.

Дана робота присвячена побудові математичної моделі температурних полів неоднорідних криволінійних стрижнів багатозв'язних поперечних перерізів. Розглянемо неоднорідний стрижень, вісь якого є плоскою кривою; його поперечний переріз є багатозв'язною областю, симетричною відносно площини кривини осі, причому її діаметр приймається сумірним з радіусом кривини осі стрижня (розглядається брус великої кривини). Будемо вважати, що на зовнішній поверхні нагрівання стрижня здійснюється шляхом конвективного теплообміну з омиваючим середовищем, а на його внутрішніх поверхнях має місце теплообмін з заповнювачами через проміжкові шари. За вихідне візьмемо рівняння нестационарної тривимірної задачі теплопровідності для неоднорідного тіла. Застосуємо до цього рівняння спосіб зведення нестационарної тривимірної задачі теплопровідності до одновимірної, запропонований в роботі [1]. В результаті отримаємо систему диференціальних рівнянь на температурні аналоги поздовжньої сили і згинальних моментів, які в рівняння термопружності стрижнів входять як складові навантаження.

Отримані співвідношення є системою диференціальних рівнянь теплопровідності неоднорідних стрижнів великої кривини довільних багатозв'язних поперечних перерізів. Коефіцієнти цих рівнянь залежать від кривини осі стрижня, параметрів його поперечного перерізу, теплофізичних характеристик стрижня і проміжкових шарів та є функціями осьової координати. Праві частини рівнянь також залежать від вищевказаних величин і інтегральних характеристик джерел тепла в стрижні і є функціями осьової координати і часу. Отримана система рівнянь є системою диференціальних рівнянь в частинних похідних і має шостий порядок за просторовою координатою та третій порядок за часом. Початкові умови і граничні умови на торцях стрижня на температурні аналоги поздовжньої сили і згинальних моментів формулюються аналогічно як у роботі [1]. Якщо в отриманих співвідношеннях прийняти, що теплофізичні характеристики стрижня є постійними величинами, товщини проміжкових шарів – рівними нулю, область поперечного перерізу – двозв'язна, матеріал стрижня – однорідний, то в результаті прийдемо до рівнянь теплопровідності трубчастих стрижнів великої кривини [1].

Література

1. Подстригач Я.С., Чернуха Ю.А., Войтович Н.И. Нестационарная теплопроводность и термоупругость кривых брусьев.- Проблемы прочности, 1976, № 9, с. 3-9.

ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КІСТКОВОГО МАСИВУ ТА ЕНДОПРОТЕЗА ТАЗОСТЕГНОВОГО СУГЛОБА

М.О.Василевська, А.П. Дзюба

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Приведені результати комп'ютерного моделювання та скінченно-елементного аналізу контактної взаємодії кісткового масиву та ендопротеза тазостегнового суглоба. Досліджено вплив форми чашки ендопротеза на характер і величину контактних напружень та напружено-деформований стан кісткового масиву в околі ендопротеза.

Імплант тазостегнового суглоба складається з стегнового і ацетабулярного (вертлюжного) компонентів.

Стегновий компонент складається з голівки і ніжки, а вертлюжний – з корпусу (чашки) і жорстко фіксованого в ньому поліетиленового вкладишу. Шарнірну пару протезу утворюють випукла сферична поверхня стегнової голівки і сферична западина вертлюжної чаші.

Титановий корпус вертлюжного компоненту, який загвинчується (врізається) в кістковий масив, являє собою об'ємне тіло складної геометрії, поверхня якого подається на основі двох стереометричних фігур у вигляді конуса і сфери.

Зовнішня поверхня чашки вертлюжного компоненту має спіралевидний виступ (перо протезу), який може мати різний поперечний переріз (трикутний, чотирикутний та ін.). При імплантації чашка ендопротезу врізається в кістковий масив, де фіксується за допомогою кісткової мозолі, що з'являється з часом.

Таким чином, спирання людини на стегнову кістку призводить до контактної взаємодії чашки ендопротезу і оточуючого його кісткового масиву таза.

Існує цілий ряд чинників, що впливають на розподіл навантажень і напружень в околі імпланта тазостегнового суглоба і, як наслідок, на процес одужання людини та на експлуатаційні характеристики і довговічність ендопротеза.

Подана робота присвячена вивченню механічних аспектів взаємодії кісткового масиву та ендопротеза тазостегнового суглоба, пов'язаних з різною формою чашки і пера ендопротеза та їх вплив на напружений стан в ендопротезі та оточуючому його кістковому масиві.

Комп'ютерне моделювання особливостей контактної взаємодії та числові дослідження виконані з використанням методу скінчених елементів. Прикладені до чашки ендопротезу сили визначаються антропологометричними навантаженнями, обумовленими вагою людини. Кістковий масив приймається жорстко затиснутим.

Отримані результати вказують, що в зоні врізання чашки протеза в кістку, зокрема на кінці пера, виникає суттєва неоднорідність напружено-деформованого стану (концентрація напружень в кістковому масиві), що збільшує ризик нездатності імпланта нести у подальшому експлуатаційні навантаження, які створюються елементом ендопротеза.

Показано, що характер і величину навантаження в кістковому масиві можна регулювати (змінювати) за допомогою варіації раціональної форми корпусу чашки і пера з метою зниження величини експлуатаційних навантажень, які виникають в кістці таза в зоні врізки протеза.

Результати подані у вигляді картин розподілу напружень. Приведено відповідний порівняльний аналіз.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТОМАТОЛОГИИ

¹А.Я.Григоренко, ²В.В.Лось, ²В.А.Маланчук, ¹Н.Н.Тормахов

*Институт механики им. С.П.Тимошенко НАНУ
Национальный медицинский университет им. А.А. Богомольца*

Традиционный расчет элементов конструкций машин и механизмов методами механики деформируемого тела включает испытание образцов конструкционных материалов, составление уравнений состояния, описывающих механические свойства этих материалов, и математическое моделирование напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных и ответственных деталей машин и механизмов. При

этом принимаются допущения об однородности и сплошности материала детали, идентичности свойств материала образцов и деталей и др. гипотезы. В случае расчета наиболее ответственных конструкций транспортного и энергетического оборудования, например, самолетов, применяют натурные эксперименты, т.е. непосредственное испытание конструкций в сборе.

При разработке методик лечения и прогнозировании его результатов в стоматологии также используют методы механико-математического моделирования [1]. Однако, человек, как объект исследования, является более сложен, чем детали машин. Ткани человеческого организма, как правило, имеют неоднородную, несплошную и анизотропную структуру, а их свойства зависят от состояния здоровья пациента. К тому же, в силу гуманных соображений человек не может быть объектом натурных экспериментов. Все это создает дополнительные сложности для совершенствования методик лечения в стоматологии традиционными методами математического моделирования.

Для совершенствования стоматологического лечения предлагается использовать методики регрессионного анализа. Например, на основе данных из стоматологической практики можно построить уравнение регрессии срока службы протезного устройства от факторов влияния. В качестве факторов влияния могут служить параметры пациента (тип его поведения, привычки, возраст, пол и т. д.), параметры протезного устройства (вес, размеры, материал), условия, в которых производится протезирование (опыт и квалификация медицинского персонала, тип лечебного учреждения и др.). Параметры факторов уравнения регрессии задают в виде чисел, а для логических параметров, например, пола пациента они могут принимать значения «1» и «0». Результаты математического моделирования на основе уравнений регрессии зависят от размеров выборки и точности заданных статистических данных. Чем больше количество клинических случаев, использовано для составления уравнения регрессии и точнее заданы исходные данные – тем точнее его результаты.

Регрессионный анализ позволяет построить математическую модель, которая позволит выявить наиболее значимые факторы успешного стоматологического лечения и усовершенствовать его методику.

Литература

1. Grigorenko A.Ya., Pliska E.N., Sorochenko G.V., Tormakhov N. N. Application of Methods of Numerical Analysis for Studying Mechanical Processes in Biomechanics // Int. Appl. Mech. - May 2018, **54**, № 3, pp 366–372.

ПРО ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РІЗЬБИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СИСТЕМИ ІМПЛАНТАТ-КІСТКА

В.Л. Богданов, О.Я. Григоренко, Є.А. Сторожук, М.М. Тормахов

Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України

У сучасній стоматології важливе місце займає дентальна імплантологія. Серед різноманітних конструкцій дентальних імплантатів найпоширенішими є циліндричні імплантати. Особливо актуальною залишається проблема вдосконалення конструкції

імплантатів із метою забезпечення їх повної остеоінтеграції з кістковою тканиною, а також зменшення максимальних напружень у кістковій тканині. Вибір найкращого імплантату значною мірою визначається якістю моделювання напружено-деформованого стану (НДС) біомеханічної системи імплантат–кістка. В даний час для розв'язання такої проблеми найчастіше використовується метод скінченних елементів (МСЕ).

Складність геометрії об'єктів дослідження у дентальній імплантології є головною проблемою при їх комп'ютерному моделюванні. Тому в більшості сучасних публікацій на дану тематику автори обмежуються аналізом НДС дентальної системи у спрощеній постановці, зокрема без врахування різьби імплантата [1].

В роботі розглядається задача про НДС біомеханічної системи, до складу якої входять циліндричний імплантат з різьбою і кісткова тканина. Моделюємо дану систему кусково-однорідним тілом обертання. Вважаючи, що навантаження задовольняє умовам осової симетрії, отримаємо осесиметричну задачу теорії пружності. Основні рівняння записані в циліндричній системі координат на основі співвідношень Коші та закону Гука.

Крайова задача про НДС системи імплантат-кістка розв'язується МСЕ [2]. Автори розробили варіант МСЕ для розв'язання задач даного класу, який реалізовано у вигляді прикладних програм. Створені програми складаються з трьох окремих частин: генератора сітки скінченних елементів, програми розв'язування осесиметричних задач лінійної теорії пружності і програми видачі на друк результатів розрахунків.

Основою схеми генерування сітки скінченних елементів є подання плоскої області складної форми у вигляді набору криволінійних чотирикутних фрагментів. Розбиття області на фрагменти нерегулярне, а фрагментів на скінченні елементи – регулярне. Програма розв'язування осесиметричних задач складається з окремих модулів, які реалізують певні частини обчислювального процесу і за своїм призначенням діляться на модулі загального та спеціального призначення.

Конкретні числові результати розрахунків НДС тіл обертання при дії осесиметричного навантаження отримуються у вигляді таблиць значень переміщень, деформацій і напружень у характерних точках.

З використанням розробленої методики і складених програм досліджено вплив геометричних параметрів різьби (форми і розмірів) на НДС біомеханічної системи імплантат-кістка та визначено їх оптимальні значення.

Література

1. Дияк І., Копитко М., Коркуна М. Дослідження напружено-деформованого стану біомеханічної системи «коронка–циліндричний імплантат–кістка» на основі осесиметричної моделі // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. – 2010. – Вип. 12. – С. 78–87.
2. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

О ПОДХОДЕ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАЗРУШЕНИЯ БИОДНОРОДНОГО СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА СЖАТИЕМ ВДОЛЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СРЕД

В.Л. Богданов, А.Л. Кипнис

Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев

Актуальной проблемой механики разрушения является изучение вопросов, связанных с разрушением кусочно-однородных материалов (слоистых композитов, материалов с тонким покрытием), которые находятся в состоянии сжатия вдоль межфазных трещин [1 – 3]. Соответствующие задачи теории упругости относятся к неклассическим проблемам механики разрушения, поскольку при такой схеме нагружения реализующееся в теле напряженно-деформированное состояние является однородным и в соответствующих представлениях для напряжений и перемещений в окрестности трещины отсутствуют сингулярные составляющие. Вследствие равенства нулю коэффициентов интенсивности напряжений классические критерии разрушения Гриффитса-Ирвина для рассматриваемой задачи оказываются неприменимыми [4]. В указанной ситуации начало развития трещины связывается с локальной потерей устойчивости состояния равновесия части материала в области, примыкающей к трещине.

В работе с использованием подходов трехмерной линеаризованной теории устойчивости деформируемых тел для случая плоской деформации выполнена математическая постановка задачи о сжатии кусочно-однородной полуплоскости усилиями, направленными вдоль расположенной в границе раздела двух материалов приповерхностной свободной от нагрузки трещины (рис. 1) и предложен подход к ее исследованию.

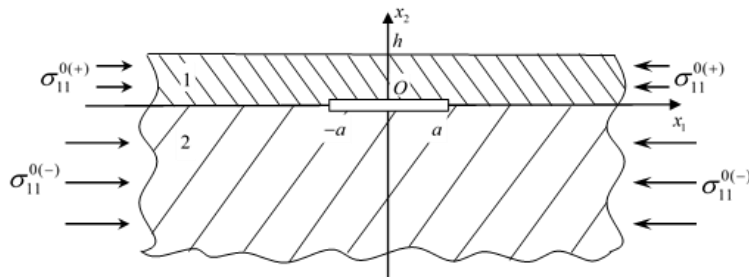


Рис. 1

При использовании представления напряжений и перемещений через комплексные потенциалы рассмотрен случай, когда для каждого из материалов корни соответствующего характеристического уравнения являются равными.

Литература

1. Гузь А.Н. О построении основ механики разрушения материалов при сжатии вдоль трещин (обзор) / А.Н. Гузь // Прикл. механика. – 2014. – 50, № 1. – С. 5–88.

2. Guz A.N. Fracture under initial stresses acting along cracks: Approach, concept and results / A.N. Guz, V.M. Nazarenko, V.L Bogdanov // Theor. Appl. Fract. Mech. – 2007. – **48**. – P. 285–303.
3. Guz A.N. Combined analysis of fracture under stresses acting along cracks / A.N. Guz, V.M. Nazarenko, V.L Bogdanov // Archive of Appl. Mech. – 2013. – **83**, No 9. – P. 1273–293.
4. Гузь А.Н. Механика разрушения композитных материалов при сжатии / А.Н. Гузь. – Киев: Наук. думка, 1990. – 630 с

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ О ТЕЧЕНИИ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ С НЕИЗВЕСТНОЙ СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

А.В. Амуров, Ю.В. Бразалук, Д.В. Евдокимов

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

Задачи с неизвестной границей представляют собой специфический класс задач математической физики, в которых форма области решения находится в процессе решения по некоторым дополнительным условиям. Понятно, что такие задачи неизбежно несут в себе специфическую форму нелинейности, которая существенно усложняет решение. Вследствие указанных трудностей рассматриваемый класс задач изучен намного хуже, чем традиционные задачи математической физики. В настоящей работе будет рассмотрена едва ли не самая известная из задач с неизвестной границей – задача стационарного потенциального течения идеальной несжимаемой жидкости со свободной границей, в частности, предметом изучения является плоская задача о течении в слое жидкости конечной глубины, содержащем тела различной геометрической формы, со свободной верхней поверхностью. Общеизвестно, что решения плоских задач о потенциальных течениях в неограниченных и полуограниченных областях определяются с точностью до некоторого циркуляционного обтекания. При этом циркуляция по обтекаемому контуру полностью определяется многие важные параметры течения, например, подъемную силу. Для определения циркуляции по обтекаемому контуру на течение приходится налагать дополнительные условия, чаще всего такие условия связаны с заданием точки схода линии тока (точки отрыва). Наиболее известным из подобных условий является постулат Чаплыгина-Жуковского о конечности скорости в острой задней кромке. В зарубежной литературе в место постулата Чаплыгина-Жуковского часто используется условие Кутта о непрерывности давления на сходящей линии тока (вихревой пелене). К сожалению, оба эти условия нельзя отнести к случаю обтекания гладкого тела, для которого нет физически обоснованных критериев определения циркуляции, а задание точек схода линий тока (точек торможения) практически эквивалентно прямому априорному заданию циркуляции. Именно проблема определения циркуляции по обтекаемым контурам значительно усложняет задачу о течении с неизвестной свободной поверхностью. Рассматриваемая задача была сформулирована в терминах функции тока, при этом на дне слоя, на обтекаемых контурах и на свободной поверхности функция тока принимала постоянные, но, разумеется, различные между собой значения. В предыдущих работах авторов настоящего исследования было показано, что значения функции тока на обтекаемом контуре однозначно определяется

циркуляцией по этому контуру. В качестве дополнительного условия для определения формы свободной поверхности использовался интеграл Бернулли.

Для численного решения описанной выше задачи были использован метод граничных элементов, согласно которому исходная постановка задачи в виде дифференциальных уравнений в частных производных была преобразована в граничные интегральные уравнения теории потенциала. Затем граница области решения была разбита на части, называемые граничными элементами, на каждом из которых известная и неизвестная функции были аппроксимированы специальным образом, что свело задачу к системе линейных алгебраических уравнений. Особое внимание было уделено способам задания и определения циркуляции по обтекаемым контурам, а также влиянию этих условий на форму свободной поверхности.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОЛИКООПОРИ ОБЕРТАЮЧИХ БАРАБАНІВ

А.І.Безцінний, Н.М.Волосова, А.Л.Яцук

Дніпровський державний технічний університет

Перспективи розвитку технологічних ліній гірничо-металургійного комплексу для підготовки рудних матеріалів передбачають створення агрегатів великої одиничної потужності. Проектування таких машин потребує врахування впливу різних факторів, які до цього часу не бралися до розгляду, що призводить до необхідності застосування більш точних методів розрахунку.

В даній роботі запропонована методика визначення реакцій опорних роликів машин барабанного типу з урахуванням нерівномірності розташування шихтового матеріалу за довжиною барабану, кута установки приводної шестерні до вертикальної осі барабану та впливу сил тертя, які виникають в опорно-поворотній частині машини при її роботі.

Робочим органом машини барабанного типу є циліндрична оболонка певного діаметра та довжини, яка в поздовжній площині опирається на дві опорні станції, на кожній з яких розташовані по два ролики. Кожний ролик встановлено під певним кутом до вертикальної осі барабану. Обертання барабану навколо поздовжньої осі здійснюється від привода з відкритою зубчатою передачею.

Оброблюваний сипучий матеріал за довжиною барабану може розташовуватись рівномірно з певним ухилом в бік розвантаження або нерівномірно із значним зосередженням з боку завантаження. Це приводить до нерівномірного навантаження опор за довжиною барабану. Для усунення даного недоліку визначається розташування центру ваги шихтового матеріалу в барабані у поперечній та поздовжній площинах (відносно осей OY та OZ) за формулами:

$$y_c = \frac{\iiint_V y dx dy dz}{\iiint_V dx dy dz}, \quad z_c = \frac{\iiint_V z dx dy dz}{\iiint_V dx dy dz}.$$

Якщо поверхня шихти в барабані має непостійний ухил, то для визначення центру тяжіння шихти застосовується графоаналітичний метод.

На наступному етапі обчислюються момент M_1 на осі барабана від ваги шихти та сила P_3 в зубчастому зачепленні.

Після цього визначається раціональне місце установки зубчастого вінця на барабані для рівномірного розподілу сил на опори вздовж довжини барабану.

Аналіз впливу положення приводної шестерні по відношенню вертикальної осі барабану на значення реакцій опор показав, що оптимальною є установка шестерні під кутом $\theta = 70^\circ$, в цьому випадку реакції опор приймають рівні і найменші значення.

Запропонований підхід визначення реакцій опорних роликів машин барабанного типу дає можливість отримати достовірні результати для проектних та перевірочних розрахунків роликів, бандажів та барабану на міцність.

МОДЕЛЮВАННЯ ОТРИМАННЯ АЛІТОВАНИХ ПОКРИТТІВ ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

Б.П.Середа, О.С.Гайдаєнко

Дніпровський державний технічний університет

Дослідження механізму формування захисного покриття на конструкційних матеріалах здійснювали, використовуючи метод термодинамічного аналізу можливих хімічних реакцій між компонентами системи. Для цього був виконаний розрахунок взаємодії газового насичуваного середовища, що утворюється в процесі СВС і матеріалом. Для термодинамічного аналізу СВС-процесу формування алітованих покриттів використовується універсальна програма розрахунку багатокомпонентних гетерогенних систем TERRA, створена на основі програми АСТРА-4 [1-5] під середовище WINDOWS і відпрацьована для високотемпературних процесів. На відміну від традиційних у хімічній термодинаміці методів розрахунків параметрів рівноваги з використанням енергії Гиббса, констант рівноваги та закону діючих мас Гольдберга і Ваге, універсальна програма термодинамічних розрахунків TERRA, базується на принципі максимуму ентропії для ізольованих термодинамічних систем, що перебувають у стані рівноваги. Воно характеризується максимумом ентропії щодо термодинамічних ступенів свободи, до яких відносяться концентрації компонентів системи, температура, тиск. Встановлено, що зі збільшенням температури кількість продуктів в газоподібній фазі зростає і виділяються конденсовані продукти. Характерно, що в області температур 700—1600 К частка конденсованої фази падає, що пов'язано з випаровуванням носія. Одночасно, починаючи з температури 800 К, відбувається розпад продуктів реакції, що підтверджує поява продуктів розкладання і різке збільшення кількості молей газу. Газоподібні продукти, взаємодіють з елементами порошкової системи переводять в газову фазу. При температурах вище 800 К частка конденсованої фази практично не змінюється. Цей факт дає підставу припустити, що в температурному інтервалі 700—1600 К відбуваються реакції з виділенням конденсованої фази, але без зміни числа молей, що характерно для реакцій розпаду, обміну з підкладкою, тобто по суті відбувається хімічний транспорт елементів. В діапазоні температур 700—1600 К є: AlH , AlH_2 , AlH_3 , AlF , AlF_2 , AlF_3 , $AlHF$, AlH_2F , AlI , AlI_2 , AlI_3 , і ін. Вміст газоподібних сполук хрому: $Al(c)$, $Al_2O_3(c)$, $AlF_3(c)$, $AlI_3(c)$, $AlN(c)$, $Cr(c)$, $Cr_2(c)$, $CrI(c)$, $Ti(c)$, і ін. Вміст газоподібних сполук титану: $TiOH$, TiF ,

TiF₂, TiF₃, TiF₄, TiOF₂, TiI, TiI₂, TiI₃, TiI₄, TiOF і ін. А також вміст конденсованих продуктів: Al(c), Al₂O₃(c), AlF₃(c), AlI₃(c), AlN(c), Cr(c), Cr₂(c), CrI(c), Ti(c) і ін.

Література

1. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гурвич, И. В. Вейц, В. А. Медведев и др. — М: Наука, 1978.
2. JANAF Thermochemical Tables (Third Edition). J. Phys. Chem. Ref. Data vol.14 (1985) Suppl. No.1. (см. также NIST Chemistry WebBook: <http://webbook.nist.gov>).
3. Едильбаев А.И. Исследование возможности обезжелезивания марганцевых концентратов/ Вестник Национальной инженерной академии РК Алматы, 2008. № 4. - С. 125—133.
4. Змий В.И. Особенности вакуумного активированного диффузионного насыщения металлов: термодинамика, механизм и кинетика /В.И. Змий, С.Г. Руденький// Металлофизика и новейшие технологии, 1998— № 10. — С. 69—75.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ САМОСКІДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ВИТРАТУ ПАЛИВА

Б.П.Середа, Д.Я.Муковська

Дніпровський державний технічний університет

Металургійна галузь України є одним з основних постачальником валютних надходжень держави, тому питання вдосконалення ефективності роботи її структур є актуальним. На території України працюють 19 великих металургійних комбінатів та заводів. На кожному з них в структурі основного металургійного виробництва є шлакове господарство, яке забезпечує переробку та утилізацію шлаків. Для транспортування шлаків зі шлакового двору, що розташовується, як правило, в центральній частині підприємства на шлакопереробну частину, що розташовується на периферії земельного відводу використовуються кар'єрні автосамоскиди виробництва холдингу «БЕЛАЗ-ХОЛДІНГ» вантажопідйомністю 30 та 45 т. Застосування таких машин обумовлюється наявністю негабаритних шлако-металевих брил вагою до 3-5 т які складно навантажувати та перевозити в автосамоскидах загального користування. Температура шлаків складає від 300 до 800 °С, довжина їздки з вантажем – від 2 до 10 км, тому за час транспортування, який може досягати однієї години, транспортний засіб нагрівається і умови експлуатації машин суттєво відрізняються від базових [1]. Дослідження транспортного процесу перевезень металургійного шлаку автосамоскидами виконувалось на основі наявної статистичної інформації. Використовувалась методика комплексної систематизації статистичної інформації.

Була досліджена залежність між величиною середньодобової фактичної витрати палива (Q) для самоскидів в умовах кар'єру металургійного підприємства. Аналізу підлягали наступні фактори:

t - середньодобова температура повітря, ($^{\circ}\text{C}$); P - середньодобовий атмосферний тиск, (мм.рт.ст.); φ - середньодобова абсолютна вологість повітря, (г/м³). Данні

досліджуваних величин досліджувались на протязі $N = 365$ послідовних днів 2018 року. За результатами розрахунку можна стверджувати, що середню ступінь впливу на результативну ознаку, якою є середньодобова фактична витрата палива, мають середньодобова абсолютна вологість повітря та середньодобова температура (коефіцієнти парної кореляції близько 0,43 та -0,53). При цьому ці два незалежні фактори мають сильний кореляційний зв'язок, що встановлює коефіцієнт парної кореляції між ними 0,861.

Між досліджуваними факторами середньодобової абсолютної вологості повітря та середньодобової температури повітря існує колінарність, оскільки їх відповідний коефіцієнт кореляції перевищує 0,8.

Література

1. Надійність роботи агрегатів кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 45 т при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків / Ю. А. Монастирський, І. В. Бондарь, А. С. Вівчарик, А. В. Гальченко. // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк. – 2016. – №55. – С. 251–255.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КАДРОВОГО СКЛАДУ ІТ-ПІДПРИЄМСТВА

О.О.Шумейко, В.В.Бобров

Дніпровський державний технічний університет

На відміну від комп'ютерної програми, людина (експерт), при вирішенні проблеми, зазвичай покладається на здоровий глузд, використовуючи невизначені і двозначні терміни. Наприклад, експерт може сказати: «хоча я трохи втомився, але все ж можу виконати цю роботу за деякий час». При цьому інші експерти не відчують труднощів з розумінням і тлумаченням цієї заяви. Як можна уявити в комп'ютері експертні знання, які використовують невизначені і двозначні терміни? Чи можна взагалі це зробити? Інструментом для досягнення цієї ціля є нечітка логіка. Нечітка логіка використовує теорію нечітких множин, тобто, множин, які калібрують невизначеність. Нечітка логіка заснована на ідеї, що всі поняття допускають градацію. Нечітка логіка відображає те, як люди думають, намагається моделювати наше почуття слів, наше прийняття рішень і наш здоровий глузд. В результаті, це призводить до побудови нових, якщо можна так сказати, більш людських інтелектуальних систем. Ця логіка для подання і маніпулювання нечіткими термінами називається нечіткою логікою. На відміну від двозначної класичної логіки, нечітка логіка багатозначна. Вона має справу зі ступенями відповідності та ступенями правди. Нечітка логіка використовує континуум логічних значень між 0 (повністю хибним) і 1 (повністю вірно).

Розглянемо проблему упорядкування альтернативи на основі композиції нечітких критеріальних оцінок і евристичних міркувань у вигляді лінгвістичних оцінок корисності.

Модель процесу прийняття рішення включає: оцінки альтернатив, уявлення особи, що приймає рішення, опис процесу прийняття рішення. Кожну альтернативу

можна описати за допомогою критеріїв якості D_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Область визначення представляється як декартовий добуток n множин D_i , $D = D_1 \times D_2 \times D_3 \times \dots \times D_n$. Точка задається відповідним набором з n значень $(d_1, d_2, \dots, d_n) \in D$, де $d_i \in D_i$ і позначається $d(n)$.

Якщо значення критеріїв визначені неточно (тобто мають на увазі нечіткими), то альтернатива A є нечіткий підпростір D і представляється як декартовий добуток нечітких множин на D_i : $A = F(D_1) \times F(D_2) \times \dots \times F(D_n)$, де $F(D_i)$ - нечітка підмножина D_i .

Функція належності $\mu_A(d_i)$ знаходиться у відповідності зі звичайним визначенням нечіткої композиції $\mu_A(d^{(n)}) = \min \{\mu_A(d_i) \mid i = 1, \dots, n\}$, де $\mu_A(d_i)$ - функція належності оцінки альтернативи за критерієм D_i .

Спираючись на метод нечіткого виводу Мамдані, побудована система формування кадрового складу ІТ-підприємства, яка спирається на нечіткі вимоги до кандидатів на вакантну посаду.

МІЖФАЗНЕ ЕЛЕКТРОІЗОЛЬОВАНЕ ВКЛЮЧЕННЯ ЗІ ЗМІННОЮ ЖОРСТКІСТЮ У П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОМУ БІМАТЕРІАЛІ

А.Г.Дацків (Криворучко), М.С.Левченко, В.В.Лобода

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

Проаналізовано електрично ізольоване включення на межі розділу двох п'єзоелектричних напівнескінчених просторів під дією антиплоского механічного і плоского електричного навантажень. Одна зона включення є абсолютно жорсткою, а інша – механічно м'якою. Ця проблема є важливою для практичних застосувань, але вона не була вирішена раніше, принаймні аналітичним шляхом.

З використанням апарату теорії функцій комплексної змінної отримано подання всіх електромеханічних величин за допомогою кусково-аналітичних вектор-функцій. За допомогою цих представлень сформульована комбінована крайова задача Діріхле-Рімана та знайдено її точний аналітичний розв'язок. На підставі цього рішення в замкнутому вигляді отримано аналітичні вирази для необхідних електромеханічних величин уздовж границі розділу матеріалів. Зокрема, отримано стрибок напруження вздовж механічно жорсткої частини включення, і додатково наведена варіація цього напруження вздовж його верхньої межі.

Значення деяких електромеханічних величин вздовж відповідних ділянок розділу матеріалу також представлені графічно для певних комбінацій матеріалів, а також конкретних співвідношень довжин механічно жорстких і м'яких зон включення. Знайдено сингулярні точки зсувних напружень, деформації, а також електричне зміщення і електричне поле. Визначено відповідні коефіцієнти інтенсивності механічних та електричних факторів. Досліджено залежність коефіцієнта інтенсивності напружень від інтенсивності електричного зміщення та співвідношення довжин жорсткої і м'якої зон. Показано, що коефіцієнт інтенсивності зсувного напруження суттєво залежить як від положення точки поділу включення на зони, так і від значення електричного зміщення. Більш того, відповідний вибір електричного поля дає змогу звести цей коефіцієнт інтенсивності до нуля.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АКУСТИЧНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ РОБОТИ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Д.З.Шматко, В.С.Авер'янов, М.М.Чехлатий

Дніпровський державний технічний університет

Ресурс автомобілів визначається, в основному, ресурсом підшипників кочення. Дефекти виготовлення і експлуатації підшипників по різному впливають на сигнал вібрації і мають різні діагностичні ознаки. Це дозволяє виявити дефекти на етапі їх виникнення та прогнозувати подальший розвиток. До дефектів виготовлення відносяться: відхилення форми при виготовленні тіл кочення, неврівноваженість кілець, ексцентриситет обойми, радіальні зазори; порушення шорсткості поверхні кочення. До дефектів монтажу відносяться: дефекти посадки підшипників у гнізда; сильне затягування; неправильне центрування.

Основні причини виходу підшипника з ладу складають: порушення змащення (40%); порушення монтажу (30%); інші причини (20%); природні зношування (10%);

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена і створена лабораторна установка для діагностики шумо-акустичних параметрів підшипників кочення, які використовуються у маточинах коліс автомобілів. Для фіксації акустичних коливань використовувалась комп'ютерна програма, яка дозволяла проводити запис з будь-якого джерела, яке підтримує комп'ютер. Діагностика підшипників проводилась на різних частотах обертання, з різними зусиллями навантаження на підшипник (з метою імітації його навантажень у реальних умовах роботи у маточині), як нового так і зношеного, тобто фіксувався час роботи підшипника і його напрацювання, а також досліджувались звукові параметри підшипників в залежності від застосування різних видів мастил, або зовсім без їх застосування.

У результаті проведених досліджень були отримані залежності акустичних параметрів підшипників кочення від їх спрацювання (терміну роботи), застосування того чи іншого виду мастила, а також проведена кореляція отриманих залежностей по критерію радіального биття підшипників.

Запропонований метод шумо-акустичного неруйнівного контролю підшипників кочення дозволяє по спектру шумо-акустичних параметрів розробити рекомендації по застосуванню в них певного виду мастильних матеріалів і визначити доцільність використання досліджуемого підшипникового вузла, тобто оцінити приблизний ресурс роботи підшипника без перевірки його експлуатаційних або монтажних дефектів.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ШЛАМА В МОЮЩЕМ РАСТВОРЕ

В.Д.Вернигора, Т.Ж. Надрыгайло

Днепро́вский госуда́рственный техни́ческий университе́т

Во многих отраслях народного хозяйства применяют порошки металлов и изделия из них. Ряд изделий производится методами порошковой металлургии. Исходным материалом в порошковой металлургии являются металлические частицы.

Наиболее часто применяются порошки, с размером частиц в пределах от 0,1 мкм до 50-100 мкм.

Основными способами получения металлических порошков являются физико-механические и химико-металлургические. Эти способы определяют свойства порошков: размеры и форму частиц, состояние поверхности. Одним из методов получения металлического порошка является извлечение металлических частиц из шлифовальных шламов абразивной обработки металлов. Важной технологической операцией извлечения частиц из шламов абразивной обработки металлов является разделение твердых частиц - металла и абразива по плотности в процессе их движения в моечном желобе [1].

Шлам абразивной обработки металлов сыпается через транспортер в желоб с моющим раствором, который подается с некоторым значением расхода жидкости Q (горизонтальный поток). На дне желоба через равные расстояния расположены сопловые группы, создающие вертикальные струи моющего раствора. Необходимо получить траектории движения твердых частиц в моющем растворе с целью подбора оптимальных параметров длины моющего желоба, величины расхода жидкости (вертикальный и горизонтальный потоки) и времени мойки шлама абразивной обработки металла. Путем численных исследований определить расстояние, на котором следует установить место падения металлических и абразивных частиц.

Данная работа посвящена исследованию траектории движения твердых частиц шлама абразивной обработки металла в моющем растворе, а также определению параметров мойки (расход и скорость жидкости), геометрических размеров желоба и времени мойки по приведенной ниже математической модели.

Движение моющего раствора будем описывать уравнениями Навье-Стокса:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \nabla p', \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0, \quad (2)$$

где $\vec{v}$ – скорость моющего раствора, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ – коэффициент кинематической вязкости,

μ – динамическая вязкость, ρ – плотность жидкости, $p' = \frac{p}{\rho}$ – давление, нормированное на плотность. Моющий раствор считаем вязкой несжимаемой ньютоновской жидкостью.

Для описания траектории движения твердых частиц шлама абразивной обработки металлов в моющем растворе выполнено с помощью системы двух нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\ddot{x} = \frac{F_{cx}}{m}, \quad (3)$$

$$\ddot{y} = \frac{1}{m} (F_a - mg + F_{cy}), \quad (4)$$

где $F_{cx} = 6\pi r\mu(v_x - \dot{x})$ и $F_{cy} = 6\pi r\mu(v_z - \dot{y})$ – проекции действующей на частицу со стороны потока жидкости силы Стокса: $\vec{F}_c = 6\pi r\mu\vec{v}$, r – радиус частицы; μ – коэффициент динамической вязкости, $\vec{v}$ – скорость движения частицы относительно жидкости, $\dot{x}$ и $\dot{y}$ – производные координат частицы или проекции скорости частицы относительно желоба, v_x, v_y – проекции скорости жидкости, набегающей на частицу, $m\vec{g}$ – сила тяжести, $F_a = \rho_{ж}gV$ – сила Архимеда, $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, m – масса частицы, V – объем частицы [2].

В качестве расчетной области выбрано сечение вдоль желоба по вертикали. Расчетная область представляет собой прямоугольник. Конечно-разностная аппроксимация уравнений системы (1) – (4) выполнена на равномерной шахматной сетке в декартовых координатах.

Граничные условия уравнений (1) – (2) выбраны следующие:

- на входе в желоб (левая граница): $v_{\perp} = v_0^x$, $v_{\parallel} = 0$.
- в донной части желоба:
 - над отверстиями форсунки поток строго вертикальный: $v_{\perp} = v_0^y$.
 - в других местах на дне: $\frac{\partial v_{\parallel}}{\partial \vec{n}} = 0$, — условие свободного скольжения;
 $v_{\perp} = 0$, — условие непротекания.
- на выходе из желоба (правая граница):
 - $v_{\perp} = V_{ж}$,
 - $\frac{\partial v_{\parallel}}{\partial \vec{n}} = 0$, — условие свободного вытекания жидкости.
 - $v_{\perp} = 0$,
- поверхность жидкости: $\frac{\partial v_{\parallel}}{\partial \vec{n}} = 0$.

Для давления на всех границах выбраны условия второго рода: $\vec{n} \cdot \vec{\nabla} p|_s = 0$. Для твердых частиц на всех границах желоба, кроме правого, выбраны условия непротекания. На правой границе: условие свободного выхода.

По описанной выше модели разработана программа на языке C++ в среде Borland C++ Builder v6.0 и проведены численные исследования движения твердых частиц шлама абразивной обработки металлов. Программа позволяет моделировать траектории движения металлических и абразивных частиц в потоке моющего раствора в желобе. В режиме случайных параметров радиус металлических частиц имеет диапазон 18 – 500 мкм, абразивных — 31 – 200 мкм. Распределение равномерное. Вероятность того, будет ли частица металлическая или абразивная, одинаковая.

Численные исследования показали, что не имеет смысла устанавливать отсекагель в конце желоба для отделения металлических частиц от абразивных. Металлические частицы большей массы остаются на дне желоба, и их можно собрать в конце мойки. Абразивные и мелкие металлические частицы долетают до конца желоба, где их можно ловить. Изменение величины вертикального потока существенно влияет на траекторию движения частиц.

Литература

1. Вернигора В.Д. Извлечение металлических частиц из шламов абразивной обработки металлов / В.Д. Вернигора, О.М. Коробочка // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб., 2008, Вип. №32(73), С. 26–32.
2. Вернигора В.Д. Математичне моделювання процесу руху твердих частинок шламу абразивної обробки металів в потоці миючого розчину, що рухається / В.Д. Вернигора, Т.Ж. Надригайло, Р.А. Беклемешев // Математичне моделювання, ДДТУ, 2012, №1(26), С. 12–15.

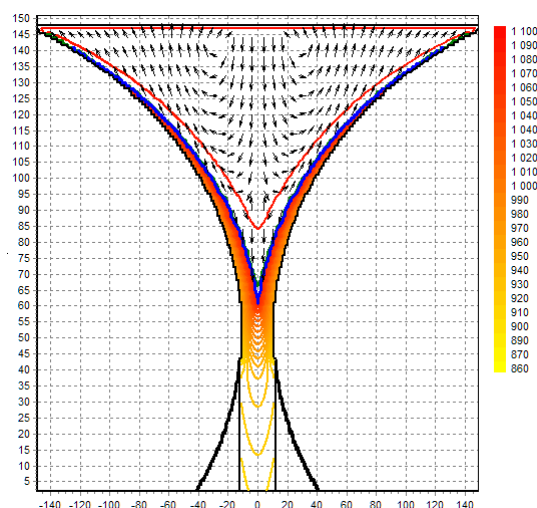
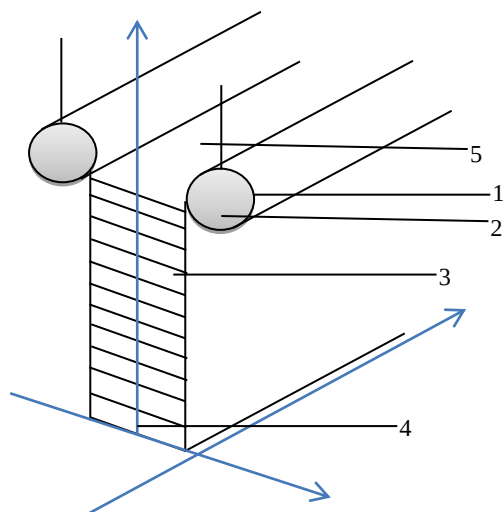
СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА УСТАНОВЦІ ВАЛКІВ-КРИСТАЛІЗАТОРІВ

А.М. Сокол

Дніпровський державний технічний університет

Безперервна розливка металів на литійно-прокатних агрегатах з двохвалковими кристалізаторами є перспективною енергозбережною технологією виробництва тонких металевих листів [1, 2].

Останні публікації, які присвячені дослідженню впливу умов розливання (радіус валків, товщина одержуваного листа, рівень і температура розплаву в міжвалковому зазорі) на фізико-технологічні параметри процесу [3], містять результати математичного моделювання, але не містять опису математичної моделі, яка використовувалась для проведення обчислювальних експериментів. Відкритим залишається питання чи є використані математичні моделі тривимірними, чи враховують вони різні теплові умови для центральних та приграничних областей листової заготовки.



З метою оптимізації параметрів технологічного процесу отримання листової заготовки пропонується створити тривимірну математичну модель, яка описує теплофізичні процеси, що протікають при отриманні листової заготовки за допомогою валків-кристалізаторів, та враховує процеси твердіння та плавлення металу заготовки.

Література

1. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением / В. Н. Данченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2011. — № 7 (272). — С. 1–8.
2. Ge S. Progress of strip casting technology for steel: historical developments. Review / S. Ge, M. Isac, I. L. Guthrie // ISIJInternational. — 2012. — Vol. 52. — № 12. — P. 2109–2122.
3. Физическое и математическое моделирование процессов тепломассопереноса, затвердевания и деформации при валковой разливке-прокатке стальной полосы // А. В. Ноговицын, И. Р. Баранов. — Пластична деформація металів, 2017 — С. 11-16.

RESEARCH ACTUALITY OF MECHANICAL BEHAVIOUR OF ROTATING SUPER LONG ROD IN A CYLINDRICAL CAVITY

I.V. Gorbunovich

National Transport University, Kyiv

Russia, Iran and Qatar are the three leading world countries in gas production and volume of reserves explored. Russia has the largest reserves – 47,8 trillion cubic meters of gas in the fields. As of January 1, 2017, Ukraine possesses 1,104 trillion cubic meters of explored reserves of natural gas. Thus, Ukraine is on the 26th place in the ranking [1].

Other figures are provided by British Petroleum, one of the world most powerful oil company, that conducts analytical studies analyzing volumes of explored gas reserves. According to company's "Statistical Review of World Energy", our country 0.6 trillion cubic meters of gas at the beginning of June 2017. It is 0.3% of the total world gas volume [1].

However, there is unconfirmed information that the Ukrainian and German group of scientists has conducted research of deposits at the Black Sea basin. According to the studies, published only in non-specialized media, the potential volume of explored deposits could reach 50 trillion cubic meters. If it is true, Ukraine will have the largest gas reserves in the world.

As of January 1, 2017, Public service of Geology and Subsoil of Ukraine has estimated the balance reserves of natural gas that can be extracted on the shelf of the Black and Azov Seas at the level of 48 billion cubic meters. It is also noted that the balance oil reserves of the Black Sea shelf amount to 3,22 million tons. At the same time, the potential reserves of gas on the shelf of these seas vary from 80 to 300 billion cubic meters. Perspective gas reserves of the north-western part of the Black Sea shelf were estimated at 40 billion cubic meters.

And on January 12, 2018, the state enterprise Ukrgazvydobuvannya reported that the company had began explore gas fields in the west of the country using modern technology. It is planned to conduct exploratory drilling in 6 fields.

According to the Energy Strategy of Ukraine (up to the year 2035), it is planned to increase production of natural gas by implementing the following measures [2]:

- geological study and research of industrial development of deposits in the coastal zone of the Black and Azov seas and deltas of rivers;
- introduction of effective technologies of drilling of exploration and exploitation wells at a depth of 6000–7000 m;
- an increase of depth of drilling wells both at explored and new fields.

The main volumes of undiscovered resources of oil, gas and gas condensate in Ukraine are at a depth of 5000–7000 m. At the same time, nowadays, deposits of oil and gas located at depths of 10000 m or deeper are becoming quite promising. The most famous super-deep wells are Kola (drilled even in Soviet times) – 12261 m and the well in Qatar (2008) – 12289 m. In November 2017, the deepest well was drilled in Sakhalin. Its length is 15000 m including a horizontal part.

In April 2017, scientists of the Japan Agency for Marine-Earth and Technology announced that they want to drill through out the earth's crust through and reach the mantle. All work is planned to be completed by 2030. Researchers hope that by studying the mantle, they can develop a more perfect system for forecasting earthquakes [3].

Large depths and complicated geological conditions make it difficult to drill super-deep wells. Drilling modes can be accompanied by effects of bifurcational buckling of columns, intensification of their vibrations, and other critical situations. The study of these

processes based on the modeling of a drill column as a rotating superlong rod. It is important to determine not only the bifurcation values of characteristic parameters of a rod (velocities of its rotation, magnitudes of longitudinal forces, torques and velocities of internal flows of a liquid) but also to identify a shape of initial buckling of the rod. This allows to find zones of contact of the column with the wall of the well and to calculate the forces of these interactions.

The development of underground energy resources, intensification of their extraction from great depths and ensuring a high level of their extraction by means of modern drilling geotechnologies will increase in the near future. The world science with the help of super drilling plans to explore the earth mantle and develop new methods for predicting earthquakes. Therefore, the problem of mathematical modeling of mechanical behaviour of a rotating super long rod in a cylindrical cavity is actual.

References

1. British Petroleum Statistical Review of World Energy June 2017.
2. Проект Енергетичної стратегії України на період до 2035 року / за заг. ред. О.М. Суходоля. Національний інститут стратегічних досліджень НАН України. – Київ. 2017.
3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. Scientists want to be first to drill into the Earth's mantle. 14.04.2017.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОЙ ФАР С СОГЛАСУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

С.В. Марченко, К.С. Загребаев, А.А.Сотник

Днепровский государственный технический университет

В работе рассматривается согласующее устройство для бесконечной плоской волноводной ФАР с треугольной сеткой расположения излучателей относительно широкой стенки волновода. Электродинамическое моделирование выполнено методом пронизывающей области, в котором граничная задача сведена к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода. В области I (рис.1.) при $z \rightarrow -\infty$ возбуждаются H_{10} - волны с единичными амплитудами и линейно изменяющимися фазами. Стенки волноводов считаются идеально проводящими, а среда — однородной и изотропной. Ввиду одинаковости полей во всех ячейках бесконечной решетки, отличающихся только фазами, найдем поле в ячейке, расположенной в начале координат.

Для решения задачи разобьем всю сложную область определения поля в выбранной ячейке на три области (рис.1). Предложенное согласующее устройство в виде согласующей периодической структуры (СПС) представляет собой подрешетку, расположенную на некотором расстоянии от основной решетки. Пространство между подрешеткой и основной решеткой имеет вид —канала Флоке конечной длины и представляет согласующую неоднородность.

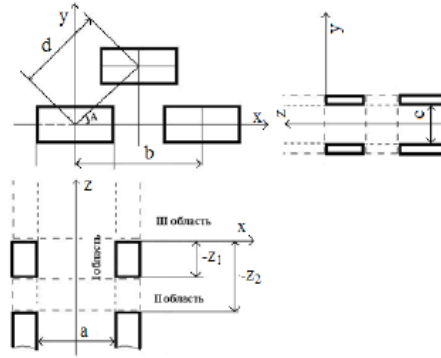


Рис.1 -Геометрия плоской волноводной ФАР с СПС

Используя подход, описанный в работе [1], получим интегральное представление для полного поля пронизывающей области:

$$\begin{aligned} \vec{E}^I(x, y, z) = & \vec{E}^{exc}(x, y, z) + \left(\vec{x}_0 \frac{\partial}{\partial x} + \vec{y}_0 \frac{\partial}{\partial y} + \vec{z}_0 \frac{\partial}{\partial z} \right) \times \\ & \left(\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_{-\frac{c}{2}}^{-z_1} \vec{G}^I(x, y, z; x', \frac{-c}{2}, z') \left[\vec{y}_0' \cdot \vec{E}^{II}(x, \frac{-c}{2}, z) \right] - \vec{G}^I(x, y, z; x', \frac{c}{2}, z') \left[\vec{y}_0' \cdot \vec{E}^{II}(x', \frac{c}{2}, z') \right] \right) dz' dx' + \\ & \left(\int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{-z_1} \vec{G}^I(x, y, z; \frac{-a}{2}, y', z') \left[\vec{x}_0' \cdot \vec{E}^{II}(\frac{-a}{2}, y', z') \right] - \vec{G}^I(x, y, z; x', \frac{a}{2}, z') \left[\vec{x}_0' \cdot \vec{E}^{II}(\frac{a}{2}, y', z') \right] \right) dz' dy' + \\ & \left(\int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \int_0^{\infty} \vec{G}^I(x, y, z; x', \frac{-c}{2}, z') \left[\vec{y}_0' \cdot \vec{E}^{III}(x', \frac{-c}{2}, z') \right] - \vec{G}^I(x, y, z; x', \frac{c}{2}, z') \left[\vec{y}_0' \cdot \vec{E}^{III}(x', \frac{c}{2}, z') \right] \right) dy' dx' + \\ & \left(\int_{-\frac{c}{2}}^{\frac{c}{2}} \int_0^{\infty} \vec{G}^I(x, y, z; \frac{-a}{2}, y', z') \left[\vec{x}_0' \cdot \vec{E}^{III}(\frac{-a}{2}, y', z') \right] - \vec{G}^I(x, y, z; \frac{a}{2}, y', z') \left[\vec{x}_0' \cdot \vec{E}^{III}(\frac{a}{2}, y', z') \right] \right) dz' dy' \end{aligned}$$

Фиксируя точки наблюдения в плоскостях: $z = -z_2$; $-z_1$; 0 , применяя граничное условие равенства тангенциальных компонент векторов напряженностей электрического поля в этих плоскостях и учитывая, что поля одинаковы в общей части пересечения выделенных областей, получим интегральное уравнение относительно напряженностей электрического поля областей II и III.

Проверка корректности построенного алгоритма расчёта бесконечной волноводной ФАР с согласующей периодической структурой проведена путём сравнения полученных данных с данными известных работ. Был выполнен предельный переход к задаче об излучении бесконечной ФАР из прямоугольных волноводов без согласующей структуры, который подтвердил корректность электродинамического алгоритма.

При исследовании влияния СПС на уменьшение модуля коэффициента отражения учитывались два размера: z_1 - расстояние от апертуры ФАР до области связи и $(z_2 - z_1)$. Значения z_1 и z_2 выражались в λ , а нормирование было проведено относительно центральной частоты 5.65 ГГц. Для определения оптимальных размеров области связи, обеспечивающих наилучшее согласование ФАР с внешним пространством, фиксировался размер z_1 , а z_2 варьировался, так чтобы значения

амплитуды коэффициента отражения в заданном секторе углов сканирования были наименьшими, а сама кривая зависимости имела плоский характер.

На рис. 2 представлены результаты для треугольной сетки с углом $A=30.1^\circ$ на частотах 5.4 и 5.9 ГГц. Из графиков видно, что только при относительно малом расстоянии ($\leq 0.1\lambda$) от апертуры до области связи возможно осуществление согласования ФАР с внешним пространством. При дальнейшем увеличении z_1 происходит увеличение коэффициента отражения вплоть до значений, соответствующих полному отражению. Также было выяснено, что для того, чтобы СПС обеспечивала наилучшее согласование данной антенной решетки с внешним пространством необходимо, чтобы ширина внутренней области связи была в пределах от 0.025λ до 0.057λ .

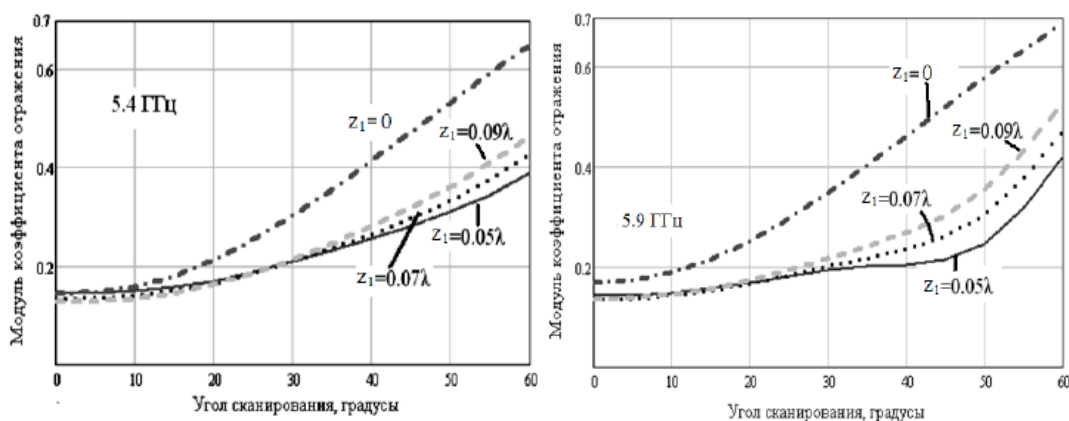


Рис. 2 - Зависимость модуля коэффициента отражения от угла сканирования на частотах 5.45 ГГц (а) и 5.9 ГГц (б)

Для треугольной сетки расположения излучателей при относительно малом расстоянии ($z_1 \leq 0.1\lambda$) от апертурной плоскости до области II можно осуществить согласование ФАР с внешним пространством. Были определены размеры СПС которая обеспечивала согласование в диапазоне частот от 5.45 до 5.9 ГГц, при этом модуль коэффициента отражения уменьшился в два раза.

Литература

1. Марченко С.В. Электродинамический расчет плоской волноводной ФАР методом пронизывающей области / С.В. Марченко, В.М. Морозов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. — 2009. — № 7. — С. 28 — 33.

ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНІКИ

Д. Є. Бобилев

Криворізький державний педагогічний університет

Однією із актуальних обчислювальних проблем моделювання є розрахунок властивостей тіл з малими і тонкими елементами структури. Останнім часом значно розширилось і коло практичних питань, пов'язаних з проведенням таких розрахунків, що обумовлено розширенням областей застосування і використання в сучасній техніці і технологіях малих і тонких елементів структури в тілах (композиційні, наноструктурні матеріали та ін.). Одним із перспективних є підхід, що базується на застосуванні теорії інтегральних рівнянь до опису напружено-деформованого стану таких структур та його чисельна реалізація методом граничних елементів (МГЕ).

Перевага МГЕ в тому, що дискретизація потрібна тільки на границі досліджуваної області. Це приводить до систем істотно більш низького порядку, ніж в інших методах. Розв'язання задач при наявності малих і тонких областей зазвичай пов'язано з появою обчислювальної нестійкості і втратою точності. МГЕ не є виключенням. При його використанні можливе виникнення нестійкості, що пов'язана з близькістю границі тонких елементів структури і використанням інтегральних рівнянь для переміщень. В більшості роботах використовується метод усереднення, а також гіпотези теорії пластин. В той же час потужні методи регуляризації не використовуються в повній мірі.

Досліджувалось багатозв'язне кусково-однорідне тіло з отворами та тонкими елементами структури. На основі рівнянь класичної двовимірної теорії пружності, побудовано математичну модель, який описує напружено-деформований стан вказаного тіла в такій формі, що дозволяє розв'язати дану задачу за допомогою МГЕ та провести регуляризацію МГЕ-розв'язку (метод Тихонова, градієнтний метод); розроблено ефективний підхід до регуляризації градієнтним методом розв'язання задач для тіл з тонкими елементами структури, що дозволяє отримати стійкий чисельний метод для розв'язання двовимірної крайової задачі.

На основі розробленого алгоритму розв'язано ряд задач геомеханіки для виробки з розвантажувальною щілиною. Проведено аналіз напружено-деформованого стану гірських масивів вказаного класу в залежності від зміни геометричних, механічних параметрів та навантаження. Можливість керування гірським тиском представляє великий практичний інтерес. Одним з перспективних напрямків у питанні охорони гірських вироблень є локальна зміна напруженого стану масиву з метою штучного керування гірським тиском і деформаційними процесами в околі гірської виробки. За останні роки накопичений значний виробничий досвід застосування різних способів розвантаження масиву гірських порід навколо виробки (розвантаження за рахунок порожнин в околі виробки, камуфлетне висадження, щілинне розвантаження і т. ін.). Усі ці способи пов'язані з утворенням у приконтурному масиві гірської виробки порожнин. Вплив цих порожнин на зміну напружень в околиці виробки в основному досліджувався тільки за допомогою моделювання електричними полями. Одним зі шляхів оптимізації даного методу розвантаження є підбір конфігурації щілини. Отримані нами результати можуть бути використані в науково-дослідних організаціях і конструкторських бюро для проведення розрахунків та оцінки надійності розвантажувальних щілин.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВИРОБІВ З ЖАРОСТІЙКИХ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

С.К.Мещанінов, Р.В.Волошин, С.І. Макаrchук

Дніпровський державний технічний університет

Проблеми вдосконалення технології чистової токарної обробки жаростійких хромонікелевих сплавів пов'язані з необхідністю забезпечення виконання високих вимог зносостійкості інструменту. Рішення цього завдання вимагає системного підходу до технології механічної обробки, вдосконалення інструментальних матеріалів, вдосконалення геометричної форми ріжучих інструментів, оптимізації режимів різання і припусків на чистову токарної обробки [1, 2].

Найбільш ефективним шляхом вирішення більшої частини цих технологічних завдань є теоретичний аналіз, практичні рекомендації вибору раціональних режимів різання, зносостійкості ріжучих інструментів, похибка обробки, шорсткості оброблених поверхонь, геометричних параметрів ріжучих лез з урахуванням зміни дійсних механічних властивостей жароміцних сплавів типу ЖС6-У, в процесі різання під впливом деформацій, навантажувальних характеристик, швидкостей деформації і нерівномірно розподілених температур.

За результатами проведених досліджень були отримані позитивні показники та розроблена технологія механічної токарної обробки різцями групи ОМ (ВК6-ОМ, ВК10-ОМ, ВК15-ОМ), виробів з жароміцних сплавів ЖС6-У, ЕП202, ЖС6-К, ЕП742, 08Х18Н10Т і т.д. За проведеними розрахунками зменшився знос інструменту в 1,9-2,3 рази, чистота токарного оброблення поверхні виробу підвищилася з $Rz = 6,3$ до $Rz = 3,2$.

Використання даної технології механічного виробництва спричинило зниження енерговитрат з $0,75 \div 0,60$ кВт на один кілограм металу, до $0,43 \div 0,23$ кВт. Так як при механічній обробці в зоні контакту інструменту з виробом відбувається нагрів до $750^\circ \text{C} \div 820^\circ \text{C}$, що тягне до швидкого зносу твердосплавних пластин (інструменту), тоді усувається негативного впливу високої температури на структуру виробу та механічні властивості різців використовувалася мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) «Аквол-2», призначена спеціально для обробки деталей з жароміцних хромонікелевих сплавів.

Отримані результати дозволяють вважати запропонований метод оптимізації досить перспективним, що може дозволити суттєво знизити знос робочої поверхні різального інструменту.

Література

1. Кушнер, В. С. Изнашивание режущих инструментов и рациональные режимы резания : учеб. пособие / В. С. Кушнер. — Омск: ОмГТУ, 1998. — 138 с.
2. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. — М. : Машиностроение, 1976. — 278 с.
3. Аршинов В. А. Різання металів і різальний інструмент. / В. А. Аршинов, Г. А. Алексєєв. — Москва: Машинобудування, 1976. — 327 с.
4. Глазова Г. А. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / Г. А. Глазова, К. Н. Скобнікова. — Москва: Машинобудування, 1972. — 367 с.

ПРОГНОЗНА ГАРАНТОВАНА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ТОЧКОВОГО ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ

С.З.Поліщук ^{1*}, В.В.Фалько ^{2*}, Є.Ю.Білик ^{3*}, Т.В.Морозова ^{4*},
А.В.Поліщук ^{5*}, А.О.Остапчук ^{6*}

^{1*}ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,
^{2*}Сумський державний університет, ^{3*} Мала академія наук України, Дніпропетровське
відділення, ^{4*}ВНЗ «Національний гірничий університет»,
^{5*} ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,
^{6*} ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

На основі стохастичного підходу введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для населених місць. Проведені дослідження по прогностичній оцінці та забезпеченню її на етапі проектування об'єктів, що мають точкове джерело викидів забруднюючих речовин (ЗР). Розповсюдження концентрацій ЗР представлено у вигляді векторного випадкового поля, що в заданій точці місцевості перетворюється в векторну випадкову величину концентрацій $(C_1, C_2, \dots, C_n)$ пЗР і характеризується п-вимірною щільністю розподілу $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$. Для визначення щільності розповсюдження концентрацій ЗР використана нормативна детермінована модель Берлянда для точкового джерела викидів. В ній аргументи концентрацій (проектні параметри джерела і характеристики навколишнього середовища) розглянуті як випадкові величини.

Використовуючи метод лінеаризації функції випадкових аргументів і на основі граничних теорем теорії ймовірностей припускаючи, що щільність розподілу підпорядкована нормальному закону, отримано числові характеристики її: математичні сподівання C_j , $j = \overline{1, n}$ (м.с.) концентрацій ЗР, їх середньоквадратичні відхилення σ_j , $j = \overline{1, n}$ і коефіцієнти кореляції Z_{ji} , $j = \overline{1, n}$; $i = \overline{1, n}$; $j \neq i$ між концентраціями j-тої та i-тої ЗР. Згідно з визначенням гарантованої якості атмосферного повітря її міра представлена якп-вимірний інтеграл ймовірностей $P_{\text{мр}}$ перевищення j-тими максимальними концентраціями C_j хоча б однієї ЗР своїх нормативних максимально разових гранично допустимих концентрацій (ГДК_{мрj}). Підінтегральною функцією його є щільність розподілу концентрацій ЗР, що підпорядкована багатовимірному нормальному закону $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$ з отриманими числовими характеристиками C_j , σ_j ($j = \overline{1, n}$) та Z_{ji} , $j = \overline{1, n}$; $i = \overline{1, n}$; $j \neq i$. Для гарантованої якості величина ймовірності $P_{\text{мр}}$ повинна бути близька до одиниці. Це виконується шляхом вибору проектних параметрів джерела.

ОЦІНКА ЗНОСУ РІЗЦІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКАЗНИКА ЛЯПУНОВА

Макарчук С.І.

Дніпровський державний технічний університет

На даний час спостерігається все більш широке застосування токарних верстатів з числовим програмним керуванням, яке ставить за мету розробки технічних рішень з автоматичного контролю стану технологічної системи, зокрема інструменту. В процесі

різання різець виходить з ладу в результаті затуплення (кінець періоду стійкості), поломки (повне руйнування ріжучої кромки або викришування частинок ріжучого матеріалу), розм'якшення (втрата твердості сталі і приварювання - явища, майже не спостережувані у твердого сплаву) і, нарешті, в результаті збільшується знос. Характер зносу і його вплив на процес різання може бути різним [1].

При цьому основною вимогою є якомога більш висока достовірність отриманих результатів, що багато в чому визначається обраними методами аналізу інформації, що характеризує стан технологічної системи. Стійкість інструменту повинна забезпечувати високу продуктивність і найменші матеріальні витрати, пов'язані з виготовленням виробу. Таку стійкість називають економічною. Її орієнтовні значення для різних ріжучих інструментів, прийняті в нормативи по режимам різання, приводяться у відповідних довідниках [2].

Процес зносу твердого сплаву при різанні є дуже складним. Велику роль при цьому відіграють не тільки механічні властивості ріжучого матеріалу, хімічні реакції між ним та оброблюваним матеріалом. Різноманіття оброблюваних матеріалів і операцій з різання вимагають великого диференціювання хімічного складу та структури твердих сплавів, що дуже ускладнює стандартизацію і позначення сплавів. При обробці сталі питомий опір різання в 2-3 рази вище, ніж при обробці чавуну і утворюється значно більша кількість тепла. Довга стружка сходить по передній поверхні різця, при цьому поверхня стикання з ріжучою кромкою велика, а час відносно тривалий. В цей час стружка істотно деформується, що сприяє теплоутворенню. Всі ці фактори створюють значне навантаження на різальну кромку. Сьогодні розроблено ряд величин, які використовуються для оцінки стану динамічної системи. Основними серед них є: розмірність аттрактору, ентропія, показники Ляпунова та Херста. Показник Ляпунова використовується в нелінійній динаміці для оцінки ступеню нестійкості процесу [4].

Аналізуючи отримані результати зроблений висновок, що застосування старшого показника Ляпунова виправдано для відстеження патологічних змін стану технологічної системи - тобто за значенням показника Ляпунова можна судити про збільшення або не збільшення катастрофічного зносу інструменту.

Література

1. Аршинов В. А. Різання металів і різальний інструмент. / В. А. Аршинов, Г. А. Алексєєв. – Москва: Машинобудування, 1976. – 327 с.
2. Глазова Г. А. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / Г. А. Глазова, К. Н. Скобнікова. – Москва: Машинобудування, 1972. – 367 с.
3. Малова А. Н. Довідник технолога-машинобудівника / А. Н. Малова. – Москва: Машинобудування, 1972. – 408 с.
4. Горбунов Б. І. Обробка металів різанням, металоріжучий інструмент і верстати / Б. І. Горбунов. – Москва: Машинобудування, 1981. – 337 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСИВНОГО НАГРУЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Л.П. Телипко, Е.И.Великодний

Днепропетровский государственный технический университет

Часто несущие конструкции (балки и плиты) промышленных зданий и сооружений воспринимают воздействие импульсивных нагрузок, обусловленных спецификой технологических процессов. Решение задачи при таких воздействиях большей частью отыскивается приближенными или численными методами. Однако для инженерной практики представляют интерес и аналитические решения, относительно простые по форме и реализации. Этому и посвящен предлагаемый доклад.

Общий подход заключается в следующем: уравнения движения составляются в линейной постановке с разделением переменных; частное решение уравнений движения базируется на методе начальных параметров по временной переменной при действии отдельных импульсов, при этом нагрузку, произвольно меняющуюся во времени представляем в виде ряда последовательных импульсов.

Применительно к распределительным системам будем исходить из следующего.

1. Принимаем одинаковые условия в отношении начальных параметров движения для всех систем.
2. Все формы главных собственных колебаний, соответствующие спектру частот собственных колебаний совершаются при одних и тех же граничных и начальных условиях.

При рассмотрении плоского поперечного изгиба балок амплитудная форма $v(x)$ представляется методом начальных параметров по геометрической переменной, а масштабная временная нагрузка выражением $T_i(t) = a_i \cdot \cos \varphi_i t + b_i \cdot \sin \varphi_i t$, при частоте собственных колебаний из спектра частот $\varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_i < \dots$. Из начальных условий движения и условий 1 и 2 определяются амплитудная форма $v(x)$ и скорость движения в момент времени $t=0$, которые рассматриваются в виде воздействия. Не меняющийся по x импульс, приложенный к балке в начальный момент времени определяется произведением интенсивности массы и скорости ее движения, одинаковой для всех массовых точек. То есть импульсом заданы начальные параметры движения, которые входят в выражение вынужденных колебаний балки.

Рассматривая собственные изгибные колебания прямоугольной изотропной пластины постоянной толщины, применяем метод Леви при следующих граничных условиях: по двум параллельным граням – шарнирное опирания; по двум другим – произвольные граничные условия. Определяя постоянные интегрирования из граничных условий, выражаем их через начальные параметры, которые как элементы входят в граничные условия и носят достаточно общий характер.

Для определения спектра частот φ_i составляются уравнения из равенства детерминанта системы алгебраических однородных уравнений, вытекающих из граничных условий.

Постоянные интегрирования в временной функции выражаем через начальные параметры движения.

Если импульс является функцией геометрической переменной, то применяем ступенчатую аппроксимацию по геометрической переменной.

ГІДРОМЕХАНІЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ФІЛЬТРАЦІЇ ДО СВЕРДЛОВИНИ

С.В. Ковальчук, В.Г. Дегтярь

Національний транспортний університет

В роботі розглядається задача пружного режиму фільтрації [1] до вертикальної свердловини із сферичним фільтром у необмеженому пласті з рухомою границею. Розглянемо наступну область фільтрації

$$\Omega = \{x, y, z \in \Omega; -\infty < x, y < \infty; 0 < z < \infty\} \quad (1)$$

Нехай на глибину ζ перпендикулярно до площини $ХОУ$, опущена свердловина з фільтром в точці $(0, 0, \zeta)$. Вважаючи, що пружний режим фільтрації описується рівнянням Фур'є [1], а потенціал на фільтрі свердловини (точковому стоці), моделюється фундаментальним розв'язком цього рівняння, поставимо наступну змішану задачу:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - a^2 \Delta \varphi &= \delta(r - r_0) \delta(t - t_0), \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + c \frac{\partial \varphi}{\partial z} &= 0, \quad z = 0 \quad \left(c = \frac{k}{\mu_0} \right), \\ \varphi &= f(x, y, z), \quad t = t_0, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\varphi = f(x, y, z)$ – потенціал швидкості фільтрації, $a^2 = \frac{km}{\mu_c}$ – коефіцієнт п'єзопровідності при пружному режимі фільтрації, δ – дельта-функція.

Розв'язок задачі (2) може бути побудований, якщо буде відома її функція впливу.

Скористаємося відомою функцією Гріна [2] задачі Неймана, яка представляється сумою двох фундаментальних розв'язків рівняння Фур'є для двох стоків рівної інтенсивності, розміщених симетрично відносно площини $ХОУ$, і які забезпечують умову неперетікання (2): $\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0, \quad z = 0$.

Після ряду перетворень і спрощень отримаємо функцію Гріна задачі (2) у вигляді:

$$\begin{aligned} \varphi &= \left(\frac{1}{2a\sqrt{\pi(t-t_0)}} \right)^3 \left[e^{-\frac{x^2+y^2+(z-\zeta)^2}{4a^2(t-t_0)}} + e^{-\frac{x^2+y^2+(z+\zeta)^2}{4a^2(t-t_0)}} \right] - \\ &- \frac{a^4}{4\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a^4(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \gamma^2 c^2} e^{-(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)a^2(t-t_0)} \cos \alpha x \cos \beta y \cos \gamma(z + \zeta) d\alpha d\beta d\gamma + \\ &+ \frac{ca^2}{4\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\gamma(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)}{a^4(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \gamma^2 c^2} e^{-(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)a^2(t-t_0)} \cos \alpha x \cos \beta y \sin \gamma(z + \zeta) d\alpha d\beta d\gamma. \end{aligned} \quad (3)$$

Література

1. Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме / Щелкачев В.Н. – М.: Гостехиздат, 1959. – 468 с.
2. Положий Г.Н. Уравнения математической физики / Положий Г.Н. – М.: Высшая школа, 1964 – 560 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ МІЖФАЗНОЇ ТРІЩИНИ В П'ЄЗОМАГНІТНОМУ МАТЕРІАЛІ

О. С. Філіпова

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

В наш час в різних областях машинобудування, автоматики та обчислювальної техніки важливе значення мають функціональні елементи, які основані на використанні п'єзомагнетиків. Такі елементи мають багато спільних рис з п'єзоелектричними: при їх виготовленні та подальшій експлуатації виникають тріщини в області поділу різних компонент.

Вивчається класична модель зовнішньої тріщини в п'єзомагнітному біматеріалі під дією зосереджених сил, котрі прикладені до берегів тріщини.

Розглядається п'єзомагнітна біматеріальна область з двома зовнішніми тріщинами в рамках класичної постановки задачі. Тобто вважається, що на одній ділянці півплощини жорстко зчеплені в п'єзомагнітному біматеріалі, а на іншій частині інтерфейсу мають місце дві тріщини. Вважається, що до берегів тріщини прикладені зосереджені сили. Вивчається випадок механічного навантаження на зовнішню міжфазну тріщину в п'єзомагнітному біматеріалі. Знайдено вирази для компонент напружено-деформованого стану через кусково-голоморфні вектор-функції, які є зручними для формулювання задач лінійного спряження для зовнішніх міжфазних тріщин в таких п'єзомагнітних матеріалах. Було розглянуто випадок осциляційної моделі, коли припускається, що тріщина повністю відкрита. Після проведення аналізу отриманих результатів отримано, що для такої моделі тріщини має місце добре відома осцилююча особливість, котра характеризується фізично нереальним взаємопроникненням матеріалів в околі її вершини.

З одержаних результатів випливає, що механічне напруження спричиняє досить значну магнітну індукцію; крім того, як напруження, так і магнітна індукція мають осцилюючу особливість біля вершин тріщини.

ЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СОЖ НА ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ШЛИФОВАНИЯ

В.Ф.Молчанов, Д.В.Остроух

Днепро́вский госуда́рственный техни́ческий университет

Одним из условий повышения качества поверхности деталей машин при шлифовании является применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Анализ воздействий жидкостей на поверхностный слой показывает, что применение СОЖ в значительной степени снижают силы трения в паре инструмент - деталь, уменьшает износ и затупление режущих кромок шлифовального круга, повышает качество шлифованных поверхностей. Однако в процессе эксплуатации смазочно-охлаждающие жидкости непрерывно и интенсивно загрязняются твердыми частицами металлообработки, которые уменьшают износостойкость инструмента, увеличивают прижоги поверхности, снижают срок эксплуатации СОЖ. Для повышения качества обрабатываемых поверхностей механические примеси из СОЖ необходимо извлекать.

Наиболее эффективными для очистки СОЖ от твердых частиц являются очистительные устройства с использованием центробежных сил и фильтрации.

В Днепропетровском государственном техническом университете разработаны установки для очистки жидкостей от твердых частиц центрифугированием и фильтрацией. В разработанных устройствах применена очистка в поле центробежных сил и с использованием фильтрации через слой сыпучих пористых материалов.

Для повышения эффективности разделения суспензии в центробежном поле в раскручивающем устройстве осадительной центрифуги разработан профиль лопатки с изменяющейся по высоте кривизной, который исключает возникновение относительного вихря и обеспечивает безударный вход и ламинарный режим течения в роторе осадительной центрифуги [1].

Особенностью фильтровальной установки является фильтрующая перегородка в виде объемной пористой камеры, ограниченной бесконечными фильтровальными сетками, между которыми размещен слой сыпучего пористого материала [2]. В качестве фильтровального материала используются вновь образованные твердые частицы металлообработки или другие широко распространенные сыпучие пористые материалы.

Очистка смазочно-охлаждающих жидкостей от твердых частиц центрифугированием и фильтрацией позволяет увеличить срок эксплуатации СОЖ, снизить выбросы загрязнений в окружающую среду, обеспечить полное извлечение твердых частиц из жидкостей, повысить качество обрабатываемых поверхностей.

Литература

1. А.с. 1197739 СССР. Осадительная центрифуга / В.Ф.Молчанов, А.М. Тихонцов и др. (СССР). // Бюллетень изобретений. - 1985. - № 46.
2. А.с. 1142139 СССР. Устройство для очистки жидкостей / А.М. Тихонцов, В.Ф. Молчанов и др.(СССР) // Бюллетень изобретений. - 1985. - № 8.

ОСНОВНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

**І.Л. Вєтвицький, І.О. Колесник, С.З. Поліщук, М.В. Вовк, Д.В. Вовк,
М.В. Джоболба**

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Увага дослідників спрямована на системи вентиляції і кондиціонування, де ховаються величезні резерви енергоефективності.

У травні 2010 року була прийнята Директива 2010/31/ЕС про енергозбереження в будівлях, згідно з якою країни ЄС зобов'язуються виконати мінімальні вимоги по будівництву «активних» будинків і різко скоротити енергоспоживання в комунально-побутовому секторі до 2020 року. На момент прийняття Директиви витрати енергії на житло становили близько 40% від всієї енергетичної потреби ЄС. Це означає, що прискореними темпами проводиться тепло модернізація старого житла, а нове житло будується за нормами 40-70 кВт·год/(м²·год), що приблизно відповідає стандартам «пасивного» будівництва, а всі наявні інженерні системи будуть проінспектовані в рамках програми «Енергетичний паспорт будівлі» і намічені жорсткі терміни реконструкції енерговитратних компонентів будівель. Підраховано, що в ЄС теплові втрати в будівлях, пов'язані з вентиляцією в опалювальний сезон, досягають 369 ТВт·год на рік теплової енергії. Ця тепла енергія може бути відновлена тільки

системами рекуперації тепла. В ЄС за рахунок рекуперації відновлюється близько 80% вентиляційних тепловтрат. Блок рекуперації тепла в системах вентиляції - це поновлюване джерело енергії, за аналогією з тепловим насосом.

Без організації системи подачі теплоносія в опалювальну систему, заснованої на відстеженні реальних погодних умов і їх постійних змін, всерйоз говорити про істотну економію коштів не має сенсу. Тому обладнання автоматизованого індивідуального теплового пункту стає основним завданням при вирішенні підвищення енергоефективності системи опалення. Реально домогтися зниження споживання тепла до 40%, встановивши сучасний ІТП.

Всі будинки побудовані в період з 1960 по 1980 рік обладнані вертикальної одноконтурною системою опалення, при якій всі наступні абоненти перебувають у повній залежності від попередніх. Модернізувати цю систему в двоконтурну практично нереально, тому залишається тільки встановити різні регулюючі пристрої: автоматичні балансувальні клапани, термостатичні клапани з термостатичною головкою. Утеплення стін зовні - один з найефективніших способів зниження тепловтрат. Щоб правильно виконати утеплення фасадів, яке б не втратило своїх теплоізоляційних властивостей, а також раптово не зруйнувалася, слід дотримуватись вимог ДБН В.2.6-31: 2006 «Теплова ізоляція будівель», де вказано мінімально допустиме значення опору теплопередачі для зовнішніх стін $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Іншими словами, якщо в квартирі цегляні стіни і їх товщина близько 52 см, то шар утеплювача - пінопласту або мінеральної вати - повинен бути не менше 12 см. Для панельних стін товщиною в 30 см шар утеплювача вибирається не менше 14 см.

Згідно з ДБН В.2.6-31: 2006 «Теплова ізоляція будівель» опір теплопередачі віконних рам і склопакетів $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Це досягається використанням вікон, які мають потрійне заklenня і обов'язково енергозберігаюче скло. На практиці також пропонують реконструкцію існуючих віконних рам з додатковим ущільненням, що дозволяє домогтися теплозахисних властивостей, які не поступаються пластиковим вікнам з однокамерними склопакетами.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАФІТОПЛАСТІВ

О.І. Буря, К.А. Єрьоміна

Дніпровський державний технічний університет

Розвиток світової хімічної промисловості в третьому тисячолітті характеризується бурхливим ростом індустрії полімерних матеріалів, у зв'язку з чим все більш актуальними стають як розробка нових типів в'язучих з підвищеними тепло- і термостійкістю, так і систематичні дослідження, спрямовані на максимальне використання потенційних можливостей наявних видів полімерних матеріалів. У той же час особливу увагу приділяють процесам теплоперенесення в полімерних матеріалах, оскільки вони характеризуються найменшою теплопровідністю в порівнянні з іншими матеріалами, що викликає небезпеку накопичення теплоти у виробках з них та деструкції.

У зв'язку з цим, мета роботи полягала у дослідженні теплофізичних властивостей графітопластів на основі ароматичного поліамідуфенілон марки С-2 в залежності від ступеню наповнення сріблястим графітом марки ГС-2 та температури оточуючого середовища. Оскільки експериментальні дослідження, пов'язані з оптимізацією складу матеріалів, є, зазвичай, громіздкими і багатофакторними, що веде до великих витрат

часу і ресурсів, дослідження проводили з використанням методів математичної статистики, які дозволяють адекватно оцінити досліджувані процеси при меншій кількості експериментів. Експериментальні значення параметрів оптимізації визначали на приладах ИТ-С-400 (ΔC , кДж/кг·°C) та ИТ- λ -400 (λ , Вт/м·°C).

Поставленої мети досягали шляхом використання ортогонального композиційного планування 2-го порядку ступеня 3^2 . На підставі експериментальних даних отримано математичний опис залежностей питомої теплоємності та теплопровідності графітопластів від температури оточуючого середовища (x_1) та вмісту графіту (x_2), які для наочності, подані у вигляді поверхонь відгуку у трьохвимірному просторі (рис. 1).

$$y(\Delta C) = 1,515 + 0,439 x_1 - 0,016 x_2 + 0,194 x_1 x_2 - 0,174 x_1^2 - 0,128 x_2^2,$$

$$y(\lambda) = 0,976 + 0,12 x_1 + 0,688 x_2 + 0,102 x_1 x_2 + 0,042 x_1^2 + 0,109 x_2^2.$$

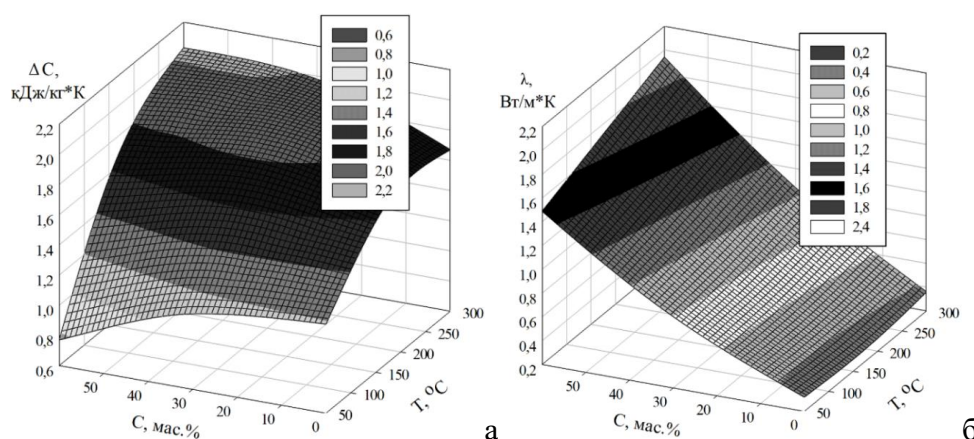


Рис. 1. Залежність питомої теплоємності (а) та теплопровідності (б) графітопластів від температури (T , °C) та вмісту графіту (C , мас. %)

Аналіз отриманих математичних моделей свідчить, що найбільше впливає на питому теплоємність графітопластів температура середовища, а на теплопровідність – вміст графіту. При цьому максимум параметрів оптимізації досягається при температурі середовища 250 °C і максимальному вмісті графіту.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛАСТИЧНОЇ СТРІЧКИ З ЖОРСТКИМ БАРАБАНОМ БЕЗ ТЕРТЯ

Г.І.Ларіонов, М.Г.Ларіонов, А.В.Пазиніч

ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

Розв'язок задачі контактної взаємодії жорсткого барабана з еластичною стрічкою у переміщеннях без посилення на закон тертя Кулона дозволить розкрити механізм посиленого зносу стрічок із високомолекулярних матеріалів у яких відсутній вплив крайового шару.

Постановка задачі. Пружна та гнучка стрічка (рис. 1) огинає на куті охопту α жорсткий барабан. Радіус барабана R вважається набагато більшим товщини стрічки h , тобто $h/R \ll 1$. Деформації вздовж напрямних циліндричного барабана вважаємо малими, тобто такими, що ними можна знехтувати. Кут охопту барабана стрічкою ділиться на ділянку прилягання – дугу спокою $0 < \varphi < \varphi^*$ і ділянку ковзання $\varphi^* < \varphi < \alpha$.

Барабан обертається у напрямку годинникової стрілки зі сталою кутовою швидкістю. Відлік кутів ведеться від точки набігання $\varphi=0$.

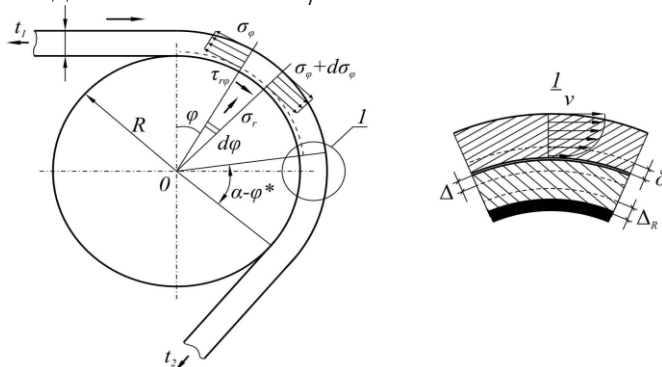


Рис. 1. Розрахункова схема задачі

Система координат для відліку радіальних u та окружних деформацій v має початок у точці $\varphi=0$ і зв'язана з тілом барабана.

Розв'язок задачі. Після оцінки складових системи рівнянь рівноваги у переміщеннях, записаних у циліндричних координатах (рівняння Ламе) для плоского випадку з врахуванням малості товщини конвеєрної стрічки по відношенню до радіуса приводного барабана $h/R \ll 1$ вона матиме вид:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + (\lambda + \mu) \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \varphi} = 0, \quad \mu \left(\frac{v}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right) = 0. \quad (1)$$

Де λ, μ – константи пружності, r – поточний радіус.

Граничні умови на дузі спокою запишемо у вигляді:

при $r=R$ $u=v=0$, при $r=R+h$ $\sigma_r = \tau_{r\varphi} = 0$,

$$\text{при } \varphi=0 \quad \int_R^{R+h} \sigma_\varphi dr = t_1; \quad \text{при } \varphi=\varphi^* \quad \int_R^{R+h} \sigma_\varphi dr = t_2^*. \quad (2)$$

Граничні умови на дузі ковзання запишемо у вигляді:

при $r=R$ $u=0$, при $r=R+h$ $\sigma_r = \tau_{r\varphi} = 0$,

$$\text{при } \varphi=\varphi^* \quad \int_R^{R+h} \sigma_\varphi dr = t_1^*; \quad \text{при } \varphi=\alpha \quad \int_R^{R+h} \sigma_\varphi dr = t_2. \quad (3)$$

Користуючись методам підстановки до системи рівнянь (1) з граничними умовами (2) на дузі спокою отримаємо розв'язок у вигляді:

$$u = \left(\frac{t_1}{\lambda h} + \frac{(t_2^* - t_1)\varphi}{\lambda h \varphi^*} \right) ((R+h) \ln(R/r) + r - R),$$

$$v = \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} (R+h) \left(\frac{t_1 \varphi}{\lambda h} + \frac{(t_2^* - t_1)\varphi^2}{2\lambda h \varphi^*} \right) \ln(R/r). \quad (4)$$

Розв'язок системи рівнянь (1) з граничними умовами (3) на дузі ковзання представлено нижче:

$$u_{sl} = \left(\frac{t_1^*}{\lambda h} + \frac{(t_2 - t_1^*)\varphi}{\lambda h (\varphi_0 - \varphi^*)} \right) (r - R),$$

$$v_{sl} = \frac{(\lambda + 2\mu)}{\lambda} (R+h) \left(\frac{t_1^* (\varphi - \varphi^*)}{\lambda h} + \frac{(t_2 - t_1^*) (\varphi^2 - (\varphi^*)^2)}{2\lambda h (\varphi_0 - \varphi^*)} \right). \quad (5)$$

Графіки розподілу переміщень на дузі обхвату (спокою і ковзання) представлено на рис.2.

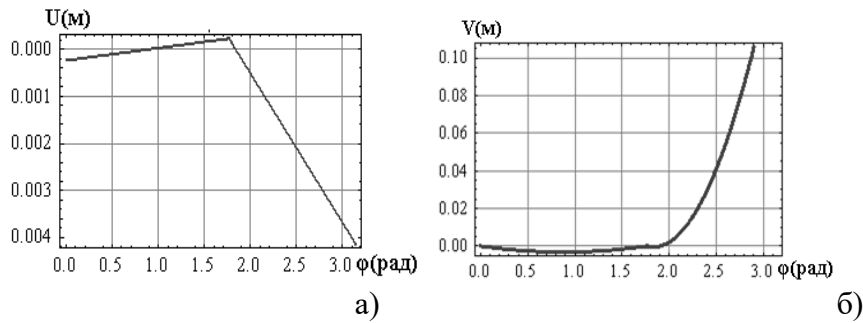


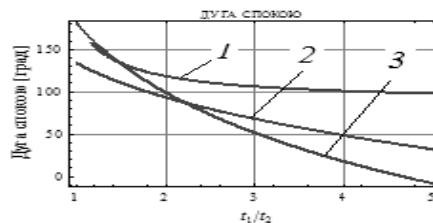
Рис. 2. Розподіл переміщень а) радіальних, б) окружних

Границя зони спокою знаходилась із умов рівності радіальних і окружних переміщень при $\varphi = \varphi^*$. Отримано розв'язок:

$$t_2^* = -t_1,$$

$$\varphi^* = \frac{(t_1/t_2)\varphi_0(2(r-R)+(R+h)\ln(R/r))}{(r-R)(3(t_1/t_2)-1)+(R+h)\ln(R/r)}.$$

Умова існування дуги спокою у вигляді $t_2^* = -t_1$ відповідає умові існування дуги спокою за М. Є. Жуковським для моделі стрічки у вигляді гнучкої нитки. Рівність тягових зусиль на дузі спокою $t_2^* = -t_1$ означає що на дузі спокою тягові зусилля не передаються. Графічні залежності довжини дуги спокою від відношення сил t_1/t_2 для $\varphi_0 = \pi$ за: Кірією Р. В. [2], М.Є. Жуковським та автором подано на рис. 3:



1 – за автором; 2 – за Кірією; 3 – за Жуковським

Рис. 3. Довжина дуги спокою від співвідношення сил тяги t_1/t_2

Із рис.3 випливає, що графічні залежності (2,3) отримані Кірією Р.В. та Жуковським М.Є. мають деяку схожість. Ця схожість на думку автора обумовлена використанням закону тертя Кулона, який за авторами діє на контакт двох тіл: стрічки та барабана. Але відомо, що тертя у вигляді закону Кулона, діє лише за умови коли ці тіла є жорсткими, чого не скажеш про постановку задачі у постановці Кірії Р.В. [2].

У залежності (1), отриманій автором взагалі відсутнє тертя на контакт. Це означає наявність лише пружної взаємодії між ними. Таким чином, графічна залежність (1) являє собою верхню межу для величини дуги спокою, що відповідає фізиці процесу. Дослідження у цьому напрямку тривають.

Література

1. Моссаковский В. И. Исследование взаимодействия ленты и упругой футеровки / В. И. Моссаковский, Г. З. Рудяков, В. Б. Салитренник // Горная механика и машиностроение: Межвед. сб. науч. тр. – М., 1967. – Т.18 – С. 320–329.
2. Кирия Р. В. Экспериментальные исследования взаимодействия упругой ленты с барабаном конвейера / Р. В. Кирия, Е. А. Стаховский // Науковий вісник Національної гірничої академії України: Зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2000. – №5. – С. 24–26.

НАПРУЖЕНИЙ СТАН В КОМПОЗИТНІЙ КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ

І.В. Бельмас*, Д.Л. Колосов **, І.Т. Бобильова *, О.В. Гумаров *

**Дніпровський державний технічний університет,*

***Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"*

Композитні матеріали виробляються як сполука різних матеріалів з різною структурою. Добором матеріалів, взаємним розташуванням структурних елементів можна отримувати матеріали з широким спектром властивостей, наприклад стрічки конвеєрів мають достатньо велику жорсткість на поздовжній розтяг, малу жорсткість на згин. Складаються вони з тросів запресованих в гумову оболонку. Вона деформується разом з системою тросів. З ними вона змінює форму на перехідних ділянках конвеєрів та в підйомних машинах спеціального призначення, на барабанах приводних та ведених, на шківках відхилення та шківках поліспаствів в інших випадках.

Перераховані умови впливають на напружено-деформований стан еластичної оболонки. Його вплив більш небезпечний по поверхні її взаємодії з елементами армування. Порушення адгезії тросів та гуми веде до втрати окремих експлуатаційних властивостей стрічки. Основним навантаженням гумотросових канатів, стрічок є подовжній (вздовж тросів) розтяг. Поздовжній розтяг стрічки супроводжується подовженням тросів та еластичної оболонки. Жорсткість тросів як стрижнів плоскої стрічки на розтяг значно (на декілька порядків) більша за відповідний показник його еластичної оболонки. Разом з тим троси стрічку не суцільні. Їх конструкція включає систему стренг, що мають гвинтову форму. В тросі осі усіх гвинтових стренг збігаються. Не будемо враховувати, що стренги утворені системою дротів гвинтових форм. Осьове навантаження троса сприймається стренгами гвинтової форми. Сила розтягу гвинтових стренг нахилена до осі стрічки.

Кут нахилу сили розтягу стренги α відповідає куту гвинтової лінії. Нахили стренг, напрямів їх дії викликають момент скручування.

В гумотросових стрічках для врівноваження моментів скручування тросів в стрічці використовують троси з протилежними напрямками скручування стренг. Таке врівноваження можливо коли кількість тросів з одним напрямом скручування стренг дорівнює кількості тросів з протилежним напрямом. Відповідно кількість тросів в стрічці має бути парною. В стрічках троси з різним напрямом скручування стренг розташовані почергово – один через один. Скручування тросів в процесі навантаження стрічки призводить до повороту поверхні взаємодії тросів та еластичної оболонки.

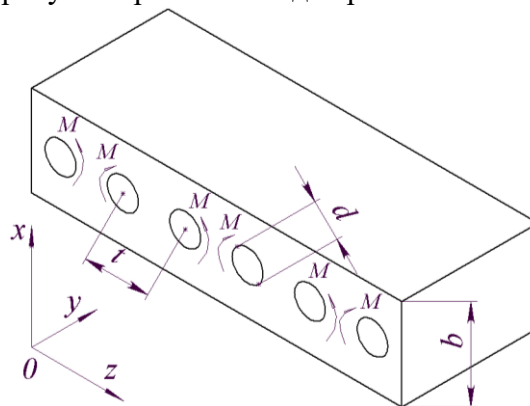


Рисунок 1 – Схема дії моментів, по поверхням взаємодії еластичної оболонки з тросами плоскої стрічки

З рисунку 1 видно, що кожна частина оболонки, що має пару отворів для тросів

в стрічці безмежної ширини, утворює систематично повторювальний елемент. Границі елементів плоскі до деформування залишаються плоскими і після дії зовнішнього навантаження. Це дозволяє розглянути лише регулярно повторювальний елемент. В якості такого елемента візьмемо елемент з найменшим значення координати x (найближче розташованих до точки початку осей координат). Розмір в напрямку осі y візьмемо рівним одиниці.

Для еластичної оболонки маємо наступні граничні умови:

$$\text{коли } x = 0 \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge 0 \leq z \leq t \quad \sigma_x = \tau_{yx} = \tau_{zx} = 0, \quad (2)$$

$$\text{коли } x = b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge 0 \leq z \leq t \quad \sigma_x = \tau_{yx} = \tau_{zx} = 0, \quad (3)$$

$$\text{коли } 0 \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = 0 \quad u_y = u_z = 0, \quad (4)$$

$$\text{коли } 0 \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = t \quad u_y = u_z = 0, \quad (5)$$

$$\text{коли } \left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{t}{2}\right)^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \wedge 0 \leq y \leq 1 \quad u_\alpha = \Delta, \quad (6)$$

де σ_x , τ_{yx} , τ_{zx} – нормальні та дотичні напруження; u_x , u_y , u_z – переміщення в напрямках осей x , y , z .

В наслідок симетричності перерізу зразка. Розглянемо його половину. Тоді замість умови (5) маємо умову

$$\text{коли } 0 \leq x \leq \frac{b-d}{2} \vee b - \frac{b-d}{2} \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = \frac{t}{2} \quad u_y = u_z = 0. \quad (7)$$

Циліндрична поверхня вісь якої має менше значення координати x повернута на кут α . Інша циліндрична поверхня повернута на кут $-\alpha$. З метою отримання результатів прийнятних для стрічок різних типорозмірів застосуємо відносні координати. Діаметр циліндричного отвору, що відповідає діаметру троса приймемо рівним одиниці. Інші розміри – крок розташування тросів та товщину стрічки приймемо віднесеними до діаметра троса в стрічці.

З використанням засобів системи автоматизованого проектування SolidWorks визначили напружено-деформований стан еластичної оболонки. Аналіз результатів показав наступне. Взаємне переміщення матеріалу набуває максимальних значень в нейтральній площині – в площині зміни напрямку нормальних напружень, де вони не можуть бути відмінними від нуля. В цих самих обсягах ближче до циліндричної поверхні виникають максимальні напруження зсуву. Ці напруження спадають до нуля коли $x=0$ та $x=t$. Зі зростанням значення відносного кроку зони локального збурення менше впливають на напружений стан на поверхнях $x=0$ та $x=t$. Зони виникнення екстремальних напружень переміщуються в напрямку не навантажених поверхонь гумової оболонки та утворюють майданчики дії мало змінних напружень. Такі майданчики зникають коли $t > 1,7d$. Напруження змінюються за синусоїдою на відрізок

$\pm \frac{\pi}{2}$ зі значною амплітудою та при подальшому зростанні кроку закон зміни

напружень σ_x наближується форми лінійного закону.

Зростання товщини зразка веде до зростання відстані від поверхні, що взаємодіє з тросом до ребер, що належать граням зразка з координатами $x=0$ та $x=t$. Зростання цієї відстані призводить до зменшення впливу на напружено-деформований стан локального чинника та до зростання плеч дії розподілених сил, що врівноважують прикладений з боку троса момент. Відповідно зменшуються і напруження на частинах з координатами $y=0$ та $y=b$ при зростанні значення розміру b . Отримані результати дозволяють, шляхом обрання геометричних параметрів перерізу конвеєрної стрічки, забезпечувати умову міцності матеріалу еластичної оболонки.

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГУМОТРОСОВОГО КАНАТУ НА БАРАБАНІ

І.В. Бельмас*, Д.Л. Колосов **, І.Т. Бобильова *, Є.В.Довгий *

**Дніпровський державний технічний університет, **Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"*

Гумотросові канати створені на основі двох компонентів – тросів та гуми, в яку вони завулканізовані в процесі виготовлення. Єдність такого композиту забезпечується адгезійним зв'язком гуми та тросів. Канат взаємодіє з барабанами. Така взаємодія супроводжується деформуванням канату. В ньому виникають напруження. Вони можуть порушити адгезійний зв'язок тросів з гумовою матрицею. Композитний матеріал перетвориться на систему взаємно не пов'язаних елементів. Поверхня тросів стане доступною до впливу зовнішнього середовища, появи та розвитку корозії. Запобігти цьому можна дослідивши характер деформування канату на барабані, встановивши розподіл напружень в гумі та врахувати в конструкції канату залежність напруженого стану канату від радіуса барабана.

На барабані плоский канат набуває циліндричної форми. Згин тросів канату спричиняє їх розподілений тиск на гуму. Гума тисне на барабан. В ній виникають напруження. Визначимо закономірності розподілу таких напружень. Для цього приймемо ряд спрощень. Будемо вважати що канат плоский (не зігнуто за радіусом барабана), безмежної ширини, спирається на площину $x=0$. Усі троси, як жорсткі тіла, під дією зовнішнього чинника, зсунуті на величину Δ в напрямку площини. Разом з тросами переміщуються і поверхні еластичної оболонки, що з ними взаємодіють.

Виріжмо один трос з еластичною оболонкою (рис. 1).

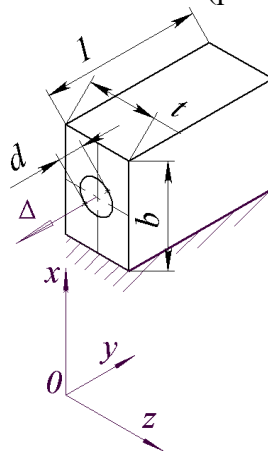


Рис.1 - Схема деформування еластичної оболонки при переміщенні каната відносно барабана

Елемент еластичної оболонки обмежений плоскими гранями. Для еластичної оболонки маємо наступні граничні умови для граней та поверхні, що відповідає поверхні взаємодії оболонки з тросом:

$$\text{коли } x = 0 \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge 0 \leq z \leq t \quad u_x = u_y = u_z = 0, \quad (1)$$

$$\text{коли } 0 \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = 0 \quad u_x = u_z = 0, \quad (2)$$

$$\text{коли } 0 \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = t \quad u_x = u_z = 0, \quad (2)$$

$$\text{коли } \left(x - \frac{b}{2}\right)^2 + \left(z - \frac{t}{2}\right)^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \wedge 0 \leq y \leq 1 \quad u_y = \Delta, \quad (4)$$

Елемент еластичної оболонки симетричний. Це дозволяє розглядати його

половину. Для половини зразка замість умови (3) маємо умову

$$\text{коли } 0 \leq x \leq \frac{b-d}{2} \vee b - \frac{b-d}{2} \leq x \leq b \wedge 0 \leq y \leq 1 \wedge z = \frac{t}{2} \quad u_x = u_z = 0. \quad (5)$$

З використанням системи автоматизованого проектування SolidWorks побудували електронну псевдореалістичну тверду модель половини елемента. Її поверхням задали переміщення що відповідають граничним умовам. Засобами системи проектування розіб'ємо модель половини елемента на кінчені об'ємні елементарні. З умов рівноваги та сумісного деформування елементарних об'ємів, отримаємо епюру розподілу дотичних напружень. На рис. 2 наведено епюру зразка з відносним кроком та відносною товщиною канату рівною 1,4 та армованого тросами діаметри яких дорівнюють одиниці.

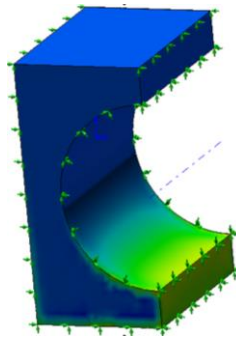


Рисунок 2 - Епюра дотичних напружень τ_{xz} твердій моделі частини еластичної оболонки гумотросового канату

Відповідно до кольорової гама висвітлення розподілу дотичних напружень їх розподіл не є рівномірним. Розглянемо його на окремих ділянках. Напруження нелінійно зростають від вільної від навантаження поверхні – найбільш віддаленої від поверхні взаємодії грані еластичної оболонки з барабаном. Напруження по середині грані (по ширині зразка) близьке до нуля. Такий характер розподілу напружень має місце і для граней з координатами $y=1, z=0$ та по усій площині $z=0$.

Другим характерним перерізом для визначення розподілу напружень є переріз площиною $z=t/2$. В цьому перерізі лежать грані з координатами $z=t/2$ і $y=0$ та $y=1$. Умови їх деформування однакові. Однакові і показники їхнього напружено-деформованого стану. Ці грані поділені отвором на дві частини. Напруження у верхній частині зразка мінімальні. Розподіл напружень в частині ближній до барабана не рівномірний. Мінімальні, в декілька раз менші, напруження виникають в середній частині перерізу оболонки. Максимальні напруження діють в тій частині матеріалу, що взаємодіє з тросом. В частині, що взаємодіє з барабаном вони менші, тобто по поверхні взаємодії троса з барабаном нерівномірність розподілу напружень менша ніж по поверхні взаємодії з тросом. Зростання кроку веде практично до пропорційного зменшення розподіленої сили та відповідно жорсткості на стиск. Збільшення товщини канату веде до зменшення жорсткості. За кроку що дорівнює двом діаметрам та більше жорсткість лінійно залежить від товщини канату – його еластичної оболонки. Максимальні напруження по поверхні взаємодії тросів та еластичної оболонки виникають по поверхні адгезійної взаємодії тросів та гуми з боку барабана. Нормальні напруження відриву тросів від еластичної оболонки розташовані у віддаленій від барабана частині оболонки малі та не можуть стати причиною відшарування гуми від тросів. Наведене дозволяє оцінювати вплив взаємодії барабана та канату при його згині на барабані та врахувати в конструкції канату залежність напруженого стану канату від радіуса барабана.

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Г.І.Танцура, Р.В.Єднач

Дніпровський державний технічний університет

Шліфування займає значне місце в металообробці. Знос шліфувального круга відбувається в наслідок циклічного механічного, теплового навантаження шліфувальних зерен. Розглянемо розподіл напружень в матеріалі шліфувального круга при дії на нього нормальної та дотичної сили. На зовнішню циліндричну поверхню круга діють рівномірно розподілені по ширині, на дузі малої довжини нормальна та дотична сили. За таких умов деформований стан круга – плоский. Зовнішній та внутрішній радіуси круга позначимо літерами r_0 та R . Віднесемо круг до полярної системи координат. Сформулюємо граничні умови:

а) по поверхні $r = r_0$

$$u_r = u_\beta = 0, \quad (1)$$

б) по поверхні $r = R$

$$R_r = \begin{cases} 1 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases} \quad \text{для випадку нормального навантаження,} \quad (2)$$

$$R_\beta = \begin{cases} 1 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases} \quad \text{для випадку дотичного навантаження} \quad (3)$$

де δ – кут дуги контакту шліфувального круга з деталлю що обробляють.

Шліфувальний круг композитний – виготовлений з абразивних зерен з'єднаних матеріалом зв'язки. Врахуємо те що розміри абразивних зерен значно менші за розміри шліфувального круга. Усереднимо механічні властивості композиту за Фохтом [1].

Розподіл напружень в шліфувальному крузі визначимо з використанням функції напружень [2] як для циліндричного неперервного тіла безмежної ширини з усередненими за Фохтом механічними характеристиками.

$$\begin{aligned} \phi(r, \beta) = & B_0 \beta + A \ln(r) + Br^2 \ln(r) + Cr^2 + (B_1 r^3 + C_1 r^{-1} + D_1 \ln(r)) \cos(\beta) - \\ & - \frac{2D_1}{1-\mu} r \beta \sin(\beta) + (A_m r^m + B_m r^{m+2} + C_m r^{-m} + D_m r^{-m+2}) \cos(m \beta). \end{aligned} \quad (4)$$

де $B_0, A, B, B_1, C_1, D_1, A_m, B_m, C_m, D_m$ - невідомі сталі; μ - коефіцієнт Пуассона; $m = 2, 3, \dots$ – ціле число.

Напруження для прийнятої функції.

$$\begin{aligned} Br(r, \beta) = & B_0 r^{-2} + (2B_1 r + 2C_1 r^{-3} + D_1 r^{-1}) \sin(\beta) - \\ & - \left(A_m r^{m-2} (1-m) - B_m r^m (1+m) + C_m \frac{1+m}{r^{m+2}} - D_m \frac{1+m}{r^m} \right) m \sin(m \beta). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Rr(r, \beta) = & Ar^{-2} + B(2 \ln(r) + 1) + 2Cr + (2B_1 r + 2C_1 r^{-3} + D_1 r^{-1}) \cos(\beta) + \\ & + \left(A_m r^m (1-m) + B_m r^m (m+2-m^2) - C_m \frac{m(1+m)}{r^{m+2}} + D_m \frac{-m+2-m^2}{r^m} \right) \cos(m \beta). \end{aligned} \quad (6)$$

$$B\beta(r, \beta) = Ar^{-2} + B(2\ln(r) + 3) + 2Cr + (6B_1r + 2C_1r^{-3} + D_1r^{-1})\cos(\beta) + \\ + \left(A_m r^{m-2} (m(m-1)) + B_m r^m (m+2)(m+1) + \right. \\ \left. + C_m r^{-m-2} m(m+1) + D_m r^{-m} (m-2)(m-1) \right) \cos(m\beta). \quad (7)$$

Напружено-деформований стан шліфувального круга навантаженого нормальним навантаженням симетричний, а дотичним - антисиметричний. Аналіз результатів розрахунків показав, що у випадку дії нормальних (радіальних) навантажень, в об'ємах матеріалу розташованих ближче до внутрішнього отвору в крузі різниця напружень зменшується, вони залишаються не рівномірно розподіленими. Максимальні нормальні колові напруження близькі за значеннями до відповідних нормальних радіальних напружень, дотичні значно менші.

У разі дії дотичних навантажень, максимальні значення дотичних напружень значно (понад ніж у три рази) перевищують значення максимальних дотичних напружень, обумовлених дією прикладених нормальних сил. Такі напруження, на нашу думку, більше за інші впливають на вирив кристалів з абразивного матеріалу. За дії дотичних навантажень колові нормальні напруження змінюють свій знак. Кількість циклів взаємодії кристалів з матеріалом до їхнього граничного зносу значно менша за 10^6 . Такий характер циклічних навантажень відносять до мало циклових. Витривалість матеріалу, що утримує кристали в шліфувальному крузі при дії симетрично змінних колових нормальних напружень має не суттєво перевищувати кількість циклів до досягнення граничного зносу різальних кромок кристалів. Цим буде забезпечено раціональне суміщення зносу шліфувального круга та відновлення різальних кромок зерен.

Висновки. Напружено-деформований стан шліфувального круга навантаженого нормальним навантаженням симетричний, а дотичним - антисиметричний. У випадку дії нормальних навантажень, напруження в об'ємах матеріалу вздовж радіусу мають спадний характер та залишаються не рівномірно розподіленими. Максимальні нормальні колові напруження близькі за значеннями до відповідних нормальних радіальних напружень, дотичні значно менші.

Дотичне навантаження циліндричної поверхні шліфувального круга призводить до появи напружень стискання та відриву. Такий характер зміни напружень на протязі одного циклу навантаження відноситься до знакозмінних – найбільш небезпечних. Кількість циклів взаємодії окремих зерен абразивного круга з деталлю що обробляють не значна. Відповідно, характер циклічних навантажень можна віднести до мало циклових. Для забезпечення оптимальних умов руйнування матеріалу зв'язки (випадання зерен) та зносу їх різальних кромок доцільно щоб малоциклова витривалість матеріалу зв'язки від дії дотичного навантаження та виникнення симетрично змінних колових нормальних напружень має перевищувати кількість циклів за яких відбувається допустимий знос різальних кромок кристалів

Література

1. Болотин В.В. Механика многослойных конструкций [Текст] / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. М. : Машиностроение, 1980. - 327с.
2. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости. [Текст] / В.Г. Рекач Учебное пособие для вузов. Изд. 2. М.: Высшая школа. 1977. 216 с.

МІЦНІСТЬ ВІДНОВЛЕНОЇ ГУМОТРОСОВОЇ СТРІЧКИ

Д.Л. Колосов *, О.І. Білоус **, І.А. Гуров **

**Національний технічний університет "Дніпровська політехніка",*

**Дніпровський державний технічний університет*

Транспортування значних обсягів сировини в гірничо-металургійному виробництві здійснюють, як правило, конвеєрами обладнаними гумотросовими стрічками. Пошкодження тросів призведе до часткової втрати стрічкою своєї тягової спроможності стрічки. Вартість гумотросових стрічок сягає 30-50% вартості конвеєра. Відновлення тягової спроможності стрічки дозволяє підвищити ефективність експлуатації конвеєрів виробничих ліній. Ремонт стрічки з ушкодженими тросами вимагає їх часткову заміну. За відсутності тросів аналогічним тросам армування стрічки застосовують троси інших конструкцій з іншою жорсткістю. Визначення умов міцності стрічки після її ремонту актуальна задача. Розв'яжемо її.

Нехай стрічка складена з M тросів. Один з тросів за номером j стрічки має відмінну жорсткість. В перерізі дискретної зміни жорсткості трос має розрив неперервності. Переріз розриву троса, дискретної зміни його жорсткості сумісно з перерізом $x=0$. Переріз розділить стрічку на дві частини. Частину j -того троса, жорсткість якої відмінна від інших, будемо вважати розташованою на відрізу ($0 \leq x < \infty$). Для кожної з частин за допомогою моделі [1] визначимо напружено-деформований стан. Величини, що відносяться до різних частин стрічки позначимо нижніми індексами цифрами – номерами частин. У виразах переміщень та сил врахуємо, що вони не можуть безмежно зростати з безмежним зростанням абсолютних значень координати x .

$$u_{1,i} = \sum_{m=1}^{M-1} A_{1,m} e^{\beta_m x} \cos(\mu_m (i-0,5)) + \frac{P}{E F} x, \quad (1)$$

$$p_{1,i} = \sum_{m=1}^{M-1} A_{1,m} e^{\beta_m x} \beta_m \cos(\mu_m (i-0,5)) E F + P, \quad (2)$$

$$u_{2i} = \sum_{m=1}^{M-1} B_{2,m} e^{-\beta_m x} \cos(\mu_m (i-0,5)) + \varepsilon_i x + \frac{P}{E F} x, \quad (3)$$

$$p_{2i} = \sum_{m=1}^{M-1} -B_{2,m} e^{-\beta_m x} \beta_m \cos(\mu_m (i-0,5)) + \varepsilon_i x + P, \quad (4)$$

де $A_{\dots}$, $B_{\dots}$ – невідомі незмінні величини; P – сила розтягу стрічки, що припадає на один

трос; $\varepsilon_i = -\frac{2 P \Omega}{M} \sum_{m=1}^{M-1} \cos(\mu_m (j-0,5)) \cos(\mu_m (i-0,5))$ – відносна деформація

троса відмінної жорсткості; $\mu_n = \frac{\pi n}{N}$, $\beta_m = \sqrt{2 \frac{G [1 - \cos(\mu_m)]}{E F}}$; E , F – зведений

модуль пружності та площа поперечного перерізу троса; G – модуль зсуву еластичного матеріалу; Ω – відношення жорсткості j троса до жорсткості основних тросів стрічки.

Неперервність стрічки вимагає виконання умов сумісності деформування її

частин в перерізі $x=0$. Такими умовами є рівність переміщень усіх тросів окрім троса з розривом неперервності. Рівність внутрішніх сил, що виникають в тросах при навантаженні стрічки. Умову рівності переміщень частини тросів в перерізі $x=0$ замінимо умовою рівності нулю різниці переміщень усіх тросів за винятком переміщень кінців j - того троса. Різницю переміщень його кінців ушкодженого троса в перерізі $x=0$ задамо невідомою величиною U . Різницю переміщень тросів рядом Фур'є.

$$u_{1,i} - u_{2,i} = U \left(\frac{2}{M} \sum_{m=1}^M \cos(\mu_m(j-0,5)) \cos(\mu_m(i-0,5)) + \frac{1}{M} \right). \quad (5)$$

Підставимо значення переміщень (1), (3) у вираз (5). Врахуємо рівність сил та відсутність сил розтягу кінців j - того троса в перерізі $x=0$. Визначимо невідомі сталі.

$$A_{1,m} = B_{2,m} + U \cos(\mu_m(j-0,5)),$$

$$B_{2,m} = \frac{U}{2} \cos(\mu_m(j-0,5)) - \frac{\Omega}{M} \cos(\mu_m(j-0,5)),$$

де

$$U = \left(\frac{2\Omega}{E F} - 2 \sum_{m=1}^{M-1} D_m \left(1 + \frac{\beta_m}{2} \right) \cos(\mu_m(j-0,5)) \right) \left(\sum_{m=1}^{M-1} \cos^2(\mu_m(j-0,5)) \right)^{-1}.$$

Аналіз виразів (1 - 4) показує, що розподілу сил, як і переміщень тросів, відповідають принципу локалізації напружено-деформованого стану твердого тіла при його локальному навантаженні або локальній зміні форми. Навантаження тросів розташованих ближче до ушкодженого більші. Максимальні їх значення реалізуються в суміжних тросах, в перерізі ушкодження троса. Їх міцність визначає умову міцності тросів. Вона має наступну форму.

$$p_{extrem} = \sum_{m=1}^{M-1} A_{1,m} \beta_m \cos(\mu_m(j \pm 1 - 0,5)) E F + P \leq [P], \quad (7)$$

де $[P]$ - допустима сила розтягу троса.

Максимальні переміщення кінців ушкодженого троса створюють передумови появи максимальних дотичних напружень в гумі. Умова міцності гуми

$$\begin{aligned} \frac{G}{h} \sum_{m=1}^{M-1} A_{1,m} \left(\cos(\mu_m(j-0,5)) - \cos(\mu_m(j-0,5)) \right) &\leq [\tau] \leq \\ &\leq \frac{G}{h} \sum_{m=1}^{M-1} A_{1,m} \left(\cos(\mu_m(j-0,5)) - \cos(\mu_m(j+0,5)) \right) \end{aligned} \quad (8)$$

де $[\tau]$ - дотичне напруження в прошарках еластичного матеріалу стрічки.

Висновки. Отримані умови міцності тросів (7) та еластичної оболонки стрічки (8) дозволяють визначати можливість часткового відновлювання стрічки шляхом заміни частини троса тросом іншої конструкції.

Література

1. Бельмас, І.В. Дослідження напруженого стану конвеєрної стрічки з тросами різної жорсткості / І.В. Бельмас, Д.Л. Колосов, О.І. Білоус, О.М. Воробйова // Математичне моделювання. – 2017. - №1(36). – С. 73-77.

ТРИБОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ОМД

А.В.Никулин, А.А.Никулин

Днепропетровский государственный технический университет, ПАО ДМК

Развитие металлургического производства в Украине связано с изменением подходов к соответствующим техническим задачам и оценкам их решений. Комплексность изучения процессов прокатки, требующая применения разнообразных знаний, приводит к необходимости развития системного подхода.

В настоящее время при построении моделей систем производства проката добавляется блок трибоники и учета износа (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема триботермомеханической системы

В результате задачи, которые прежде решались как статические (квазистатические) [1], приобретают внутренне обусловленный динамизм. Например, износ инструмента приводит к перераспределению обжатий полосы по проходам. В результате может произойти потеря продольной устойчивости процесса, по крайней мере, происходит динамическое изменение энергосиловых параметров процесса.

Для повышения эффективности производства проката требуется переход к использованию триботермомеханических систем. Системы уравнений и неравенств, составляющие их математические модели, усложняются. Следует исходить из того, что способы их решения исключительно численные методы.

Литература

1. Максименко О.П. Продольная устойчивость полосы в валках с анализом контактных условий: монография / О.П. Максименко, Д.И. Лобойко, М.К. Измайлова. – Днепропетровск: ДГТУ, 2016. – 213 с.

МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ**“МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ТА
ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ – 2019”****ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ,
КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ****СИСТЕМНО-СИНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД
У МЕТОДИЦІ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ****Н. А. Тарасенкова***Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*

Спрямування вектора системи освіти України у площину цінностей особистісного розвитку, її варіативності й відкритості, зумовлює принципову необхідність переосмислення усіх факторів, від яких залежить якість навчально-виховного процесу: змісту, методів, форм навчання і виховання, системи контролю й оцінювання, управлінських рішень, взаємовідповідальності учасників навчально-виховного процесу.

Складність, комплексність, багатоаспектність проблем забезпечення якісного навчання і виховання молодого покоління визначає необхідність застосування системного підходу до аналізу цих проблем.

Системний підхід спрямовує наукову думку на раціональне розчленування об'єкта, що пізнається, оскільки інакше первісно цілісний системний об'єкт не піддається вивченню. Згідно з методологічними положеннями В. Г. Афанасьєва, І. В. Блауберга і Е. Г. Юдіна, Б. Ф. Ломова, ознаками системи як цілісного утворення виступають: інтегративні якості; складові елементи, компоненти, частини; структура, тобто зв'язки та відношення між елементами й частинами; функціональні характеристики системи в цілому та окремих її компонентів; наявність взаємозв'язків і взаємодії із системами нижчого чи вищого порядку, стосовно яких дана система виступає як частина або ціле; історичність, наступність як зв'язок минулого, теперішнього і майбутнього у системі та її компонентах.

Зараз вже загальноприйнятим є положення про те, що розвиток більшості суспільних явищ, у тому числі й освіти, підкоряється фундаментальним законам синергетики – теорії нестабільності складних систем (І. Пригожин та ін.). Застосування синергетичної методології для вирішення проблем освіти означає, як зазначає В. С. Лу-

тай, що кожний результат конкретної педагогічної дії потребує негайного аналізу в плані його зіставлення з метою цієї дії, оскільки у випадку їх збігу педагогічна дія виступає конструктивною силою, а в іншому випадку – руйнівною. Особливо гостро ці питання постають на зламних етапах онтогенезу людини, коли її особистість як складна система, що самоорганізується, об’єктивно приходить у нестабільний стан.

Один із таких періодів припадає на I семестр першого курсу навчання у закладі вищої освіти. Добре відомо, що першокурсники зазнають значних утруднень в організації власної навчальної діяльності. Їм доводиться опрацьовувати значні за обсягом масиви даних, причому не лише під керівництвом викладача, а й у самостійній роботі. При цьому відсутність необхідного досвіду напруженої інтелектуальної праці, недостатньо сформовані волевові якості нерідко спричиняють серйозні внутрішні психологічні конфлікти, відчуття невдачі. Ситуації “неуспіху”, “особистісних поразок” породжують негативну установку щодо можливостей опанування складних курсів, зокрема математичних. Своєю чергою, це призводить до зниження пізнавальної активності студентів, продуктивності їх навчання і особистісного зростання.

У більшості першокурсників психологічний дискомфорт підсилюється й тим, що у цей період принципово по-іншому вибудовується система стосунків з оточуючими. Вступивши до закладу вищої освіти, молода людина потрапляє до зовсім нового для неї соціуму, який тільки розпочинає своє буття як складна система. У першому семестрі фактично бере старт новий виток самоствердження першокурсника як особистості, визначається його ієрархічний статус у колективі студентської групи, курсу. Все це не може не відбиватися на ході й результатах навчання.

Негативні наслідки нерідко дають і побутові проблеми, з якими стикається першокурсник.

Системний підхід з урахуванням його синергетичного аспекту дає можливість виявити глибинні механізми й закономірності протікання процесів загального і математичного розвитку студентів, прогнозувати кінцевий результат цих процесів, дидактично виважено вибудовувати освітню траєкторію студента. Основним завданням системного підходу як методології науки є розробка методів дослідження й конструювання складних за організацією об’єктів як систем.

У навчанні математики як складні системи, як системи систем, на нашу думку, мають розглядатися:

- зміст математичної освіти;
- операційна сторона навчального процесу (розумові дії та операції, способи діяльності тих, хто навчається, методи, прийоми, організаційні форми та засоби навчання математики);
- особистісний аспект процесу навчання (потреби, інтереси, мотиви навчання математики, вікові та індивідуальні особливості тих, хто навчається, міжособистісні відносини у системах «студент – студент» та «студент – викладач» тощо);
- процес цілеспрямованого перетворення особистого досвіду тих, хто навчається, – діяльність учіння;
- організаційна і керівна діяльність викладача, наставника у процесі викладання.

Стрижневим завданням має виступати формування системних якостей знань студентів як основи їх професійної компетентності.

МОНІТОРИНГ ЗАЛИШКОВИХ ЗНАНЬ ПЕРШОКУРСНИКІВ З ЕЛЕМЕНТАРНОЇ МАТЕМАТИКИ

Т.В. Крилова

Дніпровський державний технічний університет

«Моніторинг (англ. monitoring від monitor – спостережний) – постійне спостереження за якимось процесом з метою виявлення його відповідності бажаному результату чи попереднім припущенням» [1, с. 287].

Моніторинг освіти виконує наступні функції: адаптаційну, діагностичну, інтегративну, компаративіську, прагматичну, формуючу, системоутворюючу, формуючу, інформаційну, аналітико-оцінюючу, стимулююче-мотиваційну, контролюючу, прогностичну, коригуючу.

Видами педагогічного моніторингу є дидактичний, управлінський, виховний, соціально-психологічний, психолого-педагогічний, медичний.

Педагогічний моніторинг тісно пов'язаний з педагогічною діагностикою. Базовою структурою педагогічного моніторингу є педагогічний контроль (вхідний (попередній, діагностичний), поточний, періодичний, повторний, тематичний, проміжний, підсумковий (вихідний), заключний).

З метою виявлення наявних засвоєних знань та набутих умінь першокурсників з елементарної математики здійснюється вхідний контроль. На першому ж занятті з вищої та прикладної математики проводиться двохгодинна контрольна робота («нульова» контрольна робота) з елементарної математики. Викладачі кафедри вищої математики ДДТУ проводять, так звану, «нульову» контрольну роботу, а не тестування, тому що результати тесту не дають змогу викладачеві зробити висновок про те, де саме, на якому етапі розв'язання завдання студент помиляється, які помилки зустрічаються у більшості студентів тощо.

Контрольна робота містить наступні завдання: 1) дії зі звичайними та десятковими дробами (10 балів), 2) тотожні алгебраїчні (10 балів) та тригонометричні (12 балів) перетворення, 3) розв'язання лінійних (8 балів), квадратних (10 балів), показникових (15 балів), логарифмічних (15 балів) та тригонометричних (20 балів) рівнянь.

Викладач фіксує не тільки підсумкові бали, отримані студентом за виконання контрольної роботи, але й бали по кожному завданню, щоб проаналізувати результати цих робіт та проводити додаткові заняття, приділяючи більше уваги тим темам, по яким студенти отримали менші бали. Аналіз результатів «нульової» контрольної роботи вказує на основні помилки першокурсників з елементарної математики: 1) погане знання таблиці множення, 2) невміння перетворювати алгебраїчні вирази, 3) невміння позбуватися від ірраціональностей, 4) невміння розкладати багаточлен на множники, 5) незнання тригонометричних формул та дій з тригонометричними функціями, 6) незнання теорії логарифмів.

Було створено адаптаційний курс елементарної математики. Звісно, було б бажано, щоб додаткові заняття з адаптаційного курсу елементарної математики було внесено в розклад занять, або в робочу програму з вищої та прикладної математики.

Усунення недоліків у засвоєних знаннях та набутих вміннях першокурсників з елементарної математики добре вплине на засвоєння ними знань з вищої та прикладної математики.

1. Загоруйко О.Я. Великий універсальний словник української мови . – Харків: ТОРСІНГ ПЛЮС, 2010. – 768 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ю.В. Бразалук, Д.В. Евдокимов, Н.В. Поляков

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

В последние два десятилетия широкое использование компьютерной и иной электронной техники вместе с современными информационными технологиями радикально изменили многие области производства, документооборот практически во всех формах администрирования, в значительной мере усовершенствовали здравоохранение и образование. Можно привести еще множество примеров позитивного влияния информационных технологий на самые разные сферы человеческой деятельности, но в настоящей работе хотелось бы остановиться на влиянии, которое они оказывают на сферу образования. Информационные технологии, с одной стороны, открывая доступ к большим массивам самой разнообразной информации, а с другой стороны, обеспечивая весьма интенсивное ее усвоение, обещают качественно изменить существующую систему образования. Однако при анализе влияния информационных технологий на образовательные институты общества, прежде всего, имеют в виду дистанционное обучение, электронные учебники и учебные пособия, компьютерные обучающие программы и тому подобное, то есть, усовершенствованный инструментарий обучающих средств. В то же время совершенно упускается из виду, что современные информационные технологии, существенно или даже радикально изменяя многие области человеческой деятельности, сами нуждаются в пересмотре образовательной системы для подготовки специалистов, умеющих эффективно применять современные компьютерную технику и средства обработки информации. К сожалению, в последнее время эта проблема оказалась несколько закамуфлирована: действительно, подготовка специалистов в данной области разделилась на два неравнозначных направления – обучение специалистов в области электронно-вычислительной техники и программирования и подготовка квалифицированных пользователей для предметных областей. Если в первом из этих направлений, несмотря на трудности роста, очевидно замечен весьма существенный прогресс, то второе направление, по мнению авторов настоящей работы, испытывает заметные трудности, преодолеть которые для ряда предметных дисциплин и специальностей пока не удалось. Более того, в настоящее время по многим направлениям не сформировано даже адекватного понимания возможных трудностей подготовки специалистов в предметных областях с углубленным знанием компьютерной техники и информационных технологий. Проблема заключается в том, что подавляющее большинство современных программных продуктов имеют дружелюбный пользователю интерфейс, обеспечивающий легкость в их использовании и кажущуюся легкость в их понимании. Вследствие этого подготовка специалистов сводится к подготовке иногда квалифицированных, а чаще не очень квалифицированных пользователей программного продукта, хорошо владеющих интерфейсом последнего, но не имеющих надлежащего представления о его структуре, принципах функционирования и специфических особенностях эксплуатации. В некоторых случаях, например, когда речь идет о подготовке инженерных кадров, перечисленные недостатки знаний могут быть компенсированы специальными профессиональными знаниями и навыками. Когда же речь идет о подготовке специалистов в гуманитарной сфере, то подобные профессиональные знания чаще всего оказываются бесполезными.

Для преодоления указанных проблем, прежде всего, представляется необходимым дать будущим специалистам фундаментальные знания, позволяющие глубоко овладеть на надлежащем уровне современной электронной и компьютерной техникой, а также информационными технологиями. Очевидно, что для информационных технологий базовой фундаментальной дисциплиной является математика, при чем не только те ее разделы, которые традиционно относятся к стандартному курсу высшей математики, в больших или меньших объемах преподаваемом студентам технических специальностей, но и некоторые специальные разделы. К последним, безусловно, относятся теория множеств, математическая логика, теория нечеткой логики и нечетких множеств, ряд разделов прикладной математики, связанных с обработкой больших массивов информации, теория вероятности и математическая статистика, дискретная математика. При подготовке специалистов инженерных специальностей этот перечень должен быть дополнен углубленным изучением методов вычислительной математики и математического моделирования, методов оптимизации, методов решения обратных задач, функционального анализа.

Что касается инженерно-технического образования, то обозначенная выше проблема решается относительно легко – в курсе высшей математики и связанных с ним математических курсах наметилась очевидная тенденция сокращения доли учебного времени, уделяемой на формирование навыков аналитического инженерного расчета. То есть, современный инженер, использующий в своей практической деятельности пакеты прикладных программ, обеспечивающие практически полное выполнение необходимых расчетов, не нуждается в такой мере в навыках вычисления производных и интегралов, решения задач алгебры и аналитической геометрии, решения задач Коши и краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений, а также краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных в тех же объемах, как его коллега, работавший до эпохи компьютеризации инженерного труда и вынужденный проводить все указанные расчеты вручную. В случае отказа от формирования у инженеров нового поколения значительной части вышеперечисленных навыков, экономия учебного времени может достигнуть 50%, что вполне достаточно для включения перечисленных выше дополнительных разделов в рассматриваемые курсы высшей математики, прикладной математики и связанные с ними предметы. Для современного инженерного образования необходимой частью является также формирование у будущего инженера навыков программирования. К сожалению, еще не удалось изжить точку зрения на преподавание программирования как преподавание синтаксиса определенного языка программирования. Такой подход представляется совершенно бессмысленным, поскольку популярные языки программирования меняются каждые 10 лет, поэтому нет ни малейшей гарантии, что студент в своей будущей профессиональной деятельности сможет использовать именно этот язык. Важнейшим навыком в результате изучения программирования является умение составлять и применять алгоритмы, что также тесно связано с математической подготовкой студента. В области гуманитарного образования внести в программу определенную математическую подготовку несравненно труднее по целому ряду причин, среди которых и традиционно неудовлетворительное знание основ математики представителями гуманитарных специальностей, и исторически сложившееся предвзятое отношение к математическим дисциплинам. Однако соответствующие меры по математизации и информатизации гуманитарного образования представляются совершенно необходимыми.

Таким образом, можно заключить, что современные информационные технологии требуют существенного пересмотра большинства направлений системы современного высшего образования.

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РЕАЛІЗАЦІЇ ВИКЛАДАННЯ КУРСУ ВИЩОЇ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

П.О.Стеблянко, О.О.Стеблянко

Дніпровський державний технічний університет

Інтеграція України до європейської освітньої системи вимагає модернізації вітчизняної системи вищої освіти, що вмотивоване необхідністю переходу до нової філософії освіти, спрямованої на підготовку випускників вищих навчальних закладів до конкретного ринку праці. Фактично це означає, що в процесі навчання студенти повинні опанувати способи дій, притаманні їхній майбутній професійній діяльності.

Одним зі шляхів розв'язання окресленої проблеми є оновлення системи підготовки фахівців із вищою освітою, орієнтація змісту та організації навчання на компетентнісний підхід і пошук ефективних способів його впровадження. Мета вищої інженерної освіти полягає в підготовці кваліфікованого компетентного інженера, конкурентоспроможного на ринку праці, фахівця, 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 опису інженерних об'єктів і процесів та як універсальний інструмент професійної діяльності інженера. Якісний математичний складник вищої інженерної освіти – необхідна умова формування професійної компетентності випускника ВТНЗ, що повинен володіти математичними методами: моделювання, оптимізації, прогнозування. З огляду на вимоги сьогодення й перспективи розвитку вищої освіти, навчання математики студентів технічних напрямів підготовки має вийти на новий якісний рівень.

У доповіді розроблено структуру навчально-методичного комплексу з вищої та прикладної математики для майбутніх інженерів, яка складається з навчальної програми з математики для студентів технічних напрямів підготовки, предметної моделі студента ВТНЗ із математики; методичного посібника «Індивідуальні домашні завдання з вищої та прикладної математики»; методичного посібника для самостійної роботи студентів «Тестові завдання з вищої та прикладної математики»; навчального посібника з алгебри матриць «Наближені методи».

Побудовано предметну модель студента ВТНЗ із вищої та прикладної математики, що є основою проектування й організації навчання математики у ВТНЗ, методику розроблення та використання якої відображено в циклі статей.

Запропоновано системи завдань, спрямовані на послідовне опанування математичних навчальних дій за умови створення повної орієнтувальної основи діяльності й використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій.

РЕАЛІЗАЦІЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ ІНТЕГРАЛІВ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Я.І.Бондаренко, І.К. Карімов

Дніпровський державний технічний університет

При вирішенні задач моделювання технологічних процесів або оптимізації конструктивних параметрів устаткування широко застосовуються чисельні методи, що зумовлює актуальність проблеми набуття студентами відповідних компетентностей. В навчальних планах підготовки бакалаврів технічних спеціальностей ця проблема вирішується шляхом вивчення дисциплін “Вища та прикладна математика”, “Чисельні методи” тощо. При цьому виникають певні труднощі у студентів, оскільки реалізація чисельних методів пов’язана зі значним обсягом обчислень, що в свою чергу призводить до необхідності застосування комп’ютерної техніки і програмування відповідних алгоритмів. В той же час сучасні інформаційні технології на основі загальнодоступних програмних пакетів *MS Excel* та *MathCad* дають можливість вирішення подібних задач без програмування в традиційному його розумінні [1]. Особливості такого підходу обговорюються в даній доповіді на прикладі обчислення інтегралів.

Як відомо, квадратурні формули фактично зводять проблему визначення інтеграла до обчислення скінченної суми значень підінтегральної функції, заданих таблично або ж попередньо обчислених. Отже, в середовищі табличного процесора *MS Excel* необхідно організувати перебір значень незалежної змінної в інтервалі інтегрування, обчислення значень підінтегральної функції та їх суми, множення суми на крок інтегрування. На рис. 1 показаний приклад організації обчислення наближеного значення інтеграла

$$\int_0^1 (x^2 + 2x + 1) dx$$

при $n=10$ за формулами лівих (стовпчик C) і правих (стовпчик D) прямокутників та за формулою трапецій (стовпчик E).

	A	B	C	D	E
1	i	x_i	$f(x_i)$	$f(x_i)$	$(f(x_{i-1}) + f(x_i))/2$
2	0	0	1		
3	1	0,1	1,21	1,21	1,105
4	2	0,2	1,44	1,44	1,325
...	...	...	...	...	...
11	9	0,9	3,61	3,61	3,425
12	10	1		4	3,805
13	Сума		21,85	24,85	23,35
14	Інтеграл		2,185	2,485	2,335

Рис. 1. Приклад організації обчислення інтеграла в *MS Excel*

В стовпчиках А, В і рядку 1 введені фіксовані значення, решта комірок електронної таблиці містить формули відповідно до табл. 1. Зауважимо, що більшість з формул не вводиться вручну, а копіюється стандартною для *MS Excel* процедурою. Те ж саме стосується і заповнення комірок А4:В12.

Табл.1. Розрахункові формули

Комірка	Формула	Діапазон копіювання
C2	=B2^2+2*B2+1	C3:C11
D3	=B3^2+2*B3+1	D4:D12
E3	=(C2+D3)/2	ED4:E12
C13	=СУММ(C2:C12)	D13:E13
C14	=0,1*C13	D14:E14

Ще простіше квадратурні формули реалізуються в середовищі пакету *MathCad*, оскільки в підсистемі символічної математики є шаблон обчислення суми. До того ж, *MathCad* дозволяє знаходити невизначені та визначені інтеграли за допомогою підсистеми символічної математики. Звичайно, остання можливість реалізується тільки для відносно простих інтегралів, значення яких можуть бути визначені шляхом аналітичних перетворень.

На рис. 2 наведено фрагмент документа *MathCad*, в якому для розглянутого вище інтеграла обчислене точне значення (воно дорівнює $7/3$), а також наближені значення за формулами лівих, правих та центральних прямокутників. Видно, що наближені значення, обчислені за допомогою різних інформаційних технологій, співпадають. Найбільш точним є значення, обчислене за допомогою формули центральних прямокутників, оскільки вона має другий порядок точності.

Порівнюючи розглянуті програмні засоби стосовно використання в навчальному процесі, важко віддати перевагу якомусь з них. На користь *MS Excel* говорить, перш за все, доступність даного програмного засобу та наявність певних навичок його використання у всіх користувачів ПК. До переваг *MathCad* слід віднести можливість порівняння наближених значень інтеграла з точним, а також легкість проведення додаткових досліджень. Наприклад, для аналізу впливу кількості точок

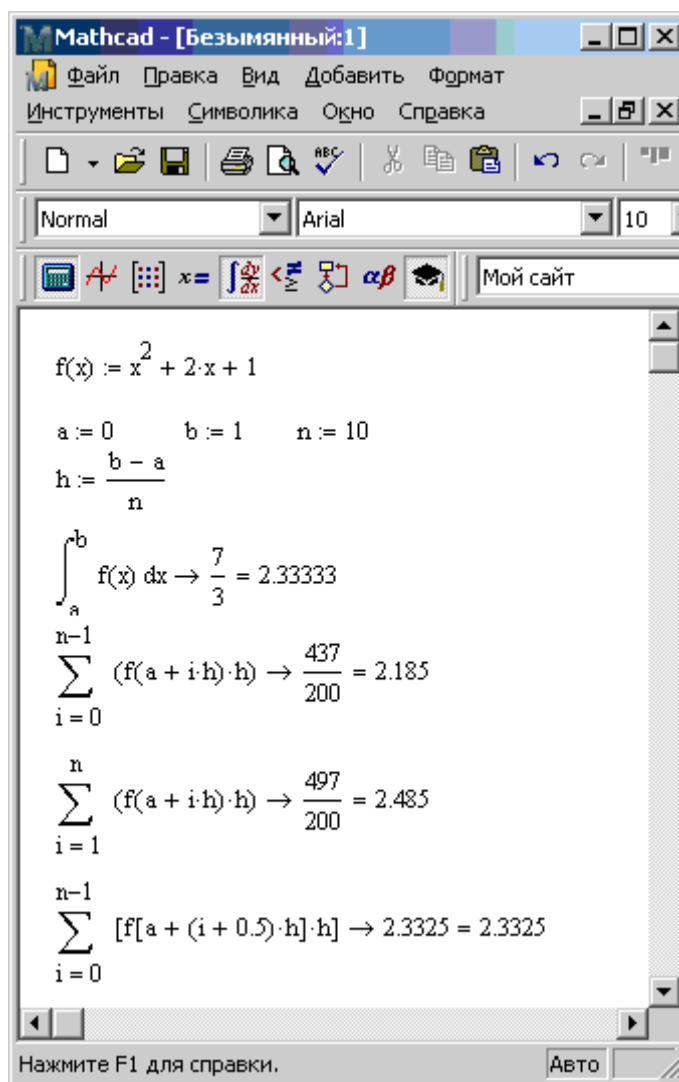


Рис. 2. Приклад обчислення інтеграла в *MathCad*

розбиття інтервалу інтегрування на точність наближеного значення інтеграла досить просто кілька разів змінити значення n (доугий рядок вікна документа *MathCad*). В середовищі *MS Excel* в цьому випадку довелося би заново повторити майже всю процедуру розв'язку.

Література

1. Карімов І.К. Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач : навч. посібник / І. К. Карімов. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 283 с.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МАТЕМАТИКИ З ДИСЦИПЛІНАМИ ЕКОНОМІЧНОГО НАПРЯМУ

Є. В.Дерець

Дніпровський державний технічний університет

Згідно з вимогами сучасних освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів економічних спеціальностей, одним з завдань вивчення математичних дисциплін є набуття майбутніми спеціалістами здатності використовувати математичний інструментарій для дослідження економічних процесів та розв'язання прикладних задач. Професійна спрямованість навчання вищої математики є важливою складовою сучасної освіти. Розв'язання професійно спрямованих задач, задач міжпредметного змісту виконує освітню, розвивальну, виховну та контролюючу функції [1].

Дослідженню загальних проблем математичної освіти майбутніх економістів присвячено багато робіт ([2 – 3] та ін.), активно розробляються підручники та навчальні посібники з математичних дисциплін з економічним спрямуванням [4 – 6], проте подальшого дослідження потребує проблема безпосереднього практичного впровадження професійно спрямованих задач у навчальний процес. Вивчення математичних дисциплін носить випереджальний характер, коли у студентів першого курсу ще немає достатньої бази зі спеціальних дисциплін, тому запропоновану Т. В. Криловою схему організаційно-методичних зв'язків викладання математики з вивченням спеціальних дисциплін пропонується доповнити довгостроковим співробітництвом викладачів спеціальних та математичних дисциплін з найкращими студентами під час вивчення математичних та спеціальних дисциплін. Наприклад, викладачі спеціальної та фундаментальної кафедри спільно зі студентом обговорюють постановку задачі, далі математичну обробку та аналіз даних студент першокурсник виконує під час вивчення відповідного розділу математики під керівництвом викладача вищої математики, а згодом проведена робота продовжується на старших курсах і стає складовою частиною курсової роботи, доповіді на конференції, студентської роботи на конкурс тощо. Таку співпрацю можна також проводити за участю декількох спеціальних кафедр, наприклад, студенти, які навчаються за спеціальністю «Соціологія» можуть провести опитування з метою дослідження попиту та вподобань споживачів, провести аналіз результатів при вивченні дисциплін «Аналіз категоріальних даних та якості емпіричного дослідження» та «Математичні методи в соціології», після чого отримані емпіричні дані можуть бути використані в роботі зі студентами економічного напрямку при розв'язанні професійно спрямованих задач. Корисним є створення проблемних ситуацій, наприклад, після проведення аналізу результатів дослідження споживацького попиту можна запропонувати розщепити дані за певними альтернативами (рівень освіти, стать, рівень доходів, вік тощо) і дослідити

наявність прихованих зв'язків, відповідно змінюються вхідні дані у задачі економічного напрямку. Спільне обговорення результатів такої роботи з усією студентською групою, використання при цьому прийомів евристичної діяльності студентів сприяє формуванню такої загальної компетентності майбутніх спеціалістів, як здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та встановлення взаємозв'язків між соціально-економічними явищами та процесами. Таким чином організований навчальний процес підвищує мотивацію до вивчення математики та активізує процес навчання.

При практичному втіленні у навчальний процес професійно спрямованих задач потрібно враховувати, що детальне і систематичне розглядання таких задач вимагає багато часу, але на сьогодні, на жаль, обсяг аудиторного навантаження постійно зменшується. Наприклад, у студентів економічного напрямку у першому семестрі, впродовж якого відбувається адаптація вчорашніх школярів до навчального процесу у вищому навчальному закладі, співвідношення кількості аудиторних занять до самостійної роботи становить 1 : 2,125, тобто на 3 тижневих аудиторних години припадає 6,375 годин самостійної роботи студента. В умовах скорочення аудиторних годин надзвичайно важливо враховувати різний рівень самостійності студентів [7].

Досліджуючи концепцію фундаменталізації математичної освіти студентів нематематичних спеціальностей, Т. Крилова зазначає, що сучасною стратегією математичної підготовки студентів вищої школи є диференціація та індивідуалізація в умовах особистісно-орієнтованого навчання [8]. На нашу думку, дієвим засобом реалізації диференціації та індивідуалізації навчання є використання під час самостійної роботи студентів інтерактивних навчальних матеріалів з використанням комп'ютерних технологій. Перевагою таких навчальних матеріалів є індивідуальна спрямованість та наявність миттєвого оберненого зв'язку, ефективність якого визначається у багатьох дослідженнях [9 – 10]. Таким чином, пропонується частину професійно орієнтованих задач винести на самостійне опрацювання, створивши для цього різноманітні інтерактивні навчальні матеріали. Обов'язковим елементом такої методичної системи є коротке аудиторне обговорення самостійно опрацьованих навчальних матеріалів та систематичний контроль за якістю самостійної роботи. Одним з засобів здійснення такого контролю є регулярне проведення короткого аудиторного тестування в «ручному режимі» за питаннями відкритого тесту, при якому неможливо вгадати відповідь. Завдання такого тесту стосуються поточного завдання для самостійної роботи і мають на меті заохотити студентів систематично опрацьовувати навчальні матеріали.

Література

1. Крилова Т. В. Шляхи активізації навчання математики у вищій технічній школі / Т. В. Крилова, П. О. Стеблянка, О. Ю. Орлова // Вісник Черкаського університету. Серія: педагогічні науки. – Вип. 181. – Ч. 1. – Черкаси: вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2010. – С. 47 – 53.
2. Дутка Г. Я. Фундаменталізація математичної освіти майбутніх економістів: монографія / Г. Я. Дутка // К.: УБС НБУ, 2008. – 478 с.
3. Рум'янцева К. Є. Використання та адаптація математичних методів і моделей у професійній підготовці майбутніх економістів: монографія / К. Є. Рум'янцева, О. М. Вільчинська // Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс»», 2016. – 204 с.
4. Грисенко М. В. Математика для економістів: Методи й моделі, приклади й задачі: навч. посіб. / М. В. Грисенко // Київ : Либідь, 2007. – 720 с.

5. Аршава О. О. Прикладні задачі з вищої математики для економічних спеціальностей: навчально-методичний посібник / О. О. Аршава, Н. Ю. Іохвідович, А. І. Кононенко та ін. // Харків : ХДТУБА, 2011. – 71 с.
6. Алілуйко А. М. Вища математика у прикладах і задачах для економістів: навч. посіб. / А. М. Алілуйко, Н. В. Дзюбановська, О. Ф. Лесик та ін. // Тернопіль : ТНЕУ, 2017. – 148 с.
7. Бабанський Ю. К. Рациональная организация учебной деятельности / Ю. К. Бабанський // М.: Педагогіка, 1981. – 96 с.
8. Крилова Т. В. Дидактичні засади фундаменталізації математичної освіти студентів нематематичних спеціальностей університетів / Т. В. Крилова, О. М. Гулеша, О. Ю. Орлова // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. збірник наукових робіт. – Вип. 35. – Донецьк: ДонНУ, 2011. – С. 27 – 35.
9. Shute V. J. Focus on formative feedback / V. Shute // Review of Educational Research. – 2008. – 78 – p. 153 – 189.
10. Bangert-Drowns R. L. The instructional effect of feedback in test-like events / R. L. Bangert-Drowns, J. A. Kulik, C.-L. C. Kulik, M. T. Morgan // Review of Educational Research. – 1991. – 61. – p. 213 – 238.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ ТЕСТІВ З ВИЩОЇ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

Є. В.Дерець

Дніпровський державний технічний університет

Використання комп'ютерної техніки є потужним засобом інтенсифікації і активізації навчання. Однією з форм застосування комп'ютера в якості навчального засобу є використання машини як репетитора [1].

Кожен репетитор розуміє, що питання, які ставляться учневі, повинні відповідати рівню його знань, отже, найкращий «діалог» між комп'ютером та студентом забезпечують адаптивні навчальні системи. На сьогодні у світовій практиці розрізняють три основні варіанти адаптивного тестування, а саме: пірамідальне тестування, flexilevel-контроль та stradaptive тестування, коли тестування проводиться за допомогою банку завдань, розділених за рівнями складності [2 – 3].

Дослідженню теоретичних та практичних аспектів комп'ютерного адаптивного навчання і тестування присвячено багато робіт, разом з тим, більшість дослідників зосереджують увагу на адаптивному тестуванні в першу чергу як засобі оцінювання та контролю. На нашу думку, адаптивні тести є потужним інструментом реалізації диференціації та індивідуалізації навчання. В проведеному дослідженні розроблено алгоритм навчального тесту, який дозволяє реалізувати індивідуальний відбір навчального матеріалу в процесі самостійної роботи студента. Пропонується узгоджувати зміст адаптивного тесту з конкретним аудиторним заняттям, таким чином адаптивний тест використовується з навчальною метою, при цьому самостійна робота студента з тестовою програмою є логічним продовженням лекційного або практичного заняття. В залежності від змісту заняття тест може мати послідовну структуру (опитування за чітко визначеним порядком змістових блоків), або паралельну структуру (послідовність опрацювання блоків є випадковою). Банк завдань має блочну

структуру, всередині кожного блоку завдання розділені за рівнями складності (stradaptive тестування), але, крім цього, частина питань одного рівня складності при складанні банку завдань об'єднується у кластер (питання одного кластеру максимально подібні, наприклад, відрізняються лише числовими коефіцієнтами). При реалізації випадкового вибору тестових питань заборонено вибирати для одного студента два питання з одного кластера підряд.

Для кожного блоку і рівня підготовки студента викладач вказує параметри налаштування для роботи алгоритму тесту, ці дані визначають скільки питань з цього блоку має бути задано, яка мінімальна кількість правильних відповідей характеризує кожен рівень підготовки, за яких умов потрібне опрацювання додаткових матеріалів за цим блоком і яких саме. Зміст таких налаштувань може змінюватися в залежності від загального рівня конкретної академічної групи, створення додаткових методичних матеріалів, поповнення банку завдань тощо.

Література

1. Крилова Т. В. Дидактичні засади фундаменталізації математичної освіти студентів нематематичних спеціальностей університетів / Т. В. Крилова, О. М. Гулеша, О. Ю. Орлова // Дидактика математики: проблеми і дослідження: Міжнар. збірник наукових робіт. – Вип. 35. – Донецьк: ДонНУ, 2011. – С. 27 – 35.
2. Федорук П. І. Адаптивні тести: загальні положення / П. І. Федорук // Математичні машини і системи, 2008. – № 1. – С. 115 – 127.
3. Лендюк Т. В. Моделювання комп'ютерного адаптивного навчання і тестування / Т. В. Лендюк // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – Вип. 1 (40). – С. 110 – 115.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРАТЕГІЙ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ТА СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ

Н.М.Волосова, Н.Ф.Стеблюк

Дніпровський державний технічний університет

При моделюванні стратегій розвитку системи вищої освіти треба враховувати, що при прогнозуванні необхідно розглядати різні контрастні варіанти її розвитку, оскільки досліджувані процеси мають високий рівень невизначеності. В основі математичної моделі прогнозування знаходиться ієрархія впливу на вищу освіту, яка складається з 5 рівнів: фокусу, факторів, акторів, цілей та стратегій системи.

Метод аналізу ієрархій (МАІ), запропонований Томасом Сааті, полягає в розкладі елементів, що визначають сутність певної проблеми, на прості складові та в подальшій обробці суджень за парними порівняннями. В результаті може бути визначений відносний ступінь взаємодії елементів в ієрархії та виконана згортка всіх конкретних оцінок в інтегральний показник. Одним з головних етапів даного методу є структурування проблеми у вигляді ієрархії або мережі. При домінантній формі ієрархії для ефективного прогнозування і досягнення збіжності поставлених бажаних цілей з логічними оптимальною є стратегія об'єднання прямого та оберненого процесів планування в єдиний сценарій. Сценарій – можливий перелік подій, що визначає розвиток певних факторів, які впливають на досліджувану систему.

В основі розробки та побудови прямого та оберненого процесу прогнозування застосовується метод аналізу ієрархій, при якому ідентифікуються три види змінних: політика планування (одна або декілька); вихідний показник та ефективність, що виражає ймовірнісні відношення між політикою планування та вихідним показником.

Після визначення технології проведення прямого та оберненого процесів планування та створення узагальненого сценарію формулюються локальні пріоритети критеріїв та виконується експертна оцінка кожної з альтернатив за критеріями. Складовими обернено-симетричних квадратних матриць є інтенсивності прояву елемента a_i ієрархії до елемента a_j , яка оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 10. На наступному етапі моделювання здійснюється побудова матриці попарних порівнянь впливу первинних факторів – економічного, політичного, соціального, технологічного на фокус ієрархії. За цією матрицею визначається власний вектор, компоненти якого можна розглядати в якості локального пріоритету, що оцінює рівень впливу фактора на освітню систему. Аналогічно оцінюється вплив акторів – студентів, викладачів, адміністрації, уряду, працедавців на фактори та визначаються власні вектори відповідних матриць. В результаті попарного порівняння всіх цілей четвертого рівня ієрархії для акторів формується система матриць домінування і їх власних векторів, яка дозволяє проводити аналіз ситуаційних сценаріїв. Така оцінка проводиться, починаючи з вершини ієрархії, визначається ваговий вектор для отримання вагових коефіцієнтів можливих сценаріїв.

Розглянута математична модель, яка заснована на сценарному методі прогнозування та методі аналізу ієрархій, дозволяє визначити оптимальний ситуативний сценарій та розробити стратегії розвитку системи вищої освіти для його успішної реалізації.

ЩОДО КОНЦЕПЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 073 «МЕНЕДЖМЕНТ»

І.К. Карімов, Г.І. Карімов

Дніпровський державний технічний університет

Наприкінці 2018 р. нарешті з'явився і набув чинності стандарт вищої освіти за спеціальністю 073 «Менеджмент» [1], в якому зафіксовані вимоги, комплексне виконання яких забезпечує підготовку якісного фахівця. Зокрема, в стандарті наведений перелік необхідних компетентностей випускника. В контексті досліджуваного питання виділимо, насамперед, наступні з них:

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу;

ЗК4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК8. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Відповідно до Національної рамки кваліфікацій [2] вказані компетентності передбачають наявність концептуальних знань, набутих у процесі навчання та професійної діяльності, включаючи певні знання сучасних досягнень; уміння розв'язання складних непередбачуваних задач і проблем у спеціалізованих сферах професійної діяльності та/або навчання, що передбачає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір методів та інструментальних засобів, застосування інноваційних підходів; здатність донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень та власного досвіду в галузі професійної діяльності.

Як і передбачається існуючою концепцією вищої освіти, в стандарті відсутні посилання на конкретні дисципліни, отже, необхідність введення до програми підготовки бакалаврів тієї чи іншої дисципліни є прерогативою конкретного вищого навчального закладу. В той же час, в опису предметної області серед методів, методик та технологій явно вказані «...розрахунково-аналітичні, економіко-статистичні, економіко-математичні, ... методи прогнозування і планування ...» [1]. Традиційно ці методи вивчалися в таких дисциплінах, як «Вища математика», «Теорія ймовірностей і математична статистика», «Оптимізаційні методи і моделі», «Економетрика», «Дослідження операцій» тощо.

З врахуванням активного проникнення сучасних інформаційних технологій в навчальний процес та побудови останнього на засадах компетентнісного підходу виникає необхідність в уточненні не тільки переліку математичних дисциплін, але й тем кожної з них; змісту теоретичної і практичної підготовки; місця та ролі інформаційних технологій в цій підготовці. Окремі з цих питань вже розглядалися в роботах [3-4], ряд інших - обговорюються в даній доповіді.

Література

1. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 073 «Менеджмент» галузі знань 07 «Управління та адміністрування» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти // URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni_standarty/12/21/073-menedzhment-bakalavr.pdf (дата звернення: 30.03.2019).
2. Національна рамка кваліфікацій // База даних «Законодавство України»/ВР України. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п> (дата звернення: 30.03.2019).
3. Карімов І.К. Технологічний підхід до спеціальної математичної підготовки бакалаврів з менеджменту та адміністрування/ І.К. Карімов, Г.І. Карімов // Математичні проблеми технічної механіки – 2018: тез. доп. міжн. наук. конф., 16-19 квіт. 2018 р. — Київ, Черкаси, Кам'янське, 2018. – С. 85.
4. Карімов І.К. Моделювання та прогнозування в системі підготовки студентів економічних спеціальностей / І.К. Карімов, Г.І. Карімов // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету: (технічні науки) / Кам'янське: ДДТУ. – 2017.- Випуск 2(31). – С. 149-153.

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАННІ

Ж.В.Худа, Є.А.Тонконог

Дніпровський державний технічний університет

Розвиток сучасного наукового знання та науково-технічні досягнення суспільства обумовили модернізацію всієї системи вищої школи, але передусім у напрямку її подальшої інформатизації та комп'ютеризації, що сприяє появі нових освітніх можливостей, нових перспективних форм, методів і засобів навчання, їх широкому впровадженню у навчально-науковий і виховний процес вищої школи.

Аналіз теорії і практики навчання у вищій школі свідчить про те, що найчастіше дидактичний і технологічний потенціал застосовуваних в навчальному процесі засобів інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) враховується не в повній мірі і використовується нераціонально. Електронні компоненти предметних навчально-

методичних комплексів, які застосовуються на навчальних заняттях мають переважно емпіричний рівень розробки і презентаційний характер, орієнтований, перш за все, на реалізацію принципу наочності в навчанні. На наш погляд, доцільним є предметно-наукове обґрунтування теоретичних і практико-орієнтованих положень, що визначають системне застосування засобів ІКТ в сучасних умовах модернізації сфери вищої освіти. Надзвичайно значущою є розробка ефективного в своєму технологічному і дидактичному потенціалі методичного інструментарію (комплексу методів, прийомів і засобів), що дозволяє підняти на більш якісний рівень здійснення процесу навчання у вищій школі. Рішення даного завдання при забезпеченні інтеграції змісту навчання студентів з їх самостійною навчальною діяльністю та гарантованим отриманням відповідних компетенцій на інформаційно-комунікаційній технологічній основі може бути забезпечено в рамках специфічної взаємодії - в інформаційно-освітньому середовищі вузу. Одним зі значимих компонентів цього середовища доцільно розглядати предметні електронні навчально-методичні комплекси, певний досвід розробка яких у вищій школі вже існує. Реалізація даного напрямку комплексно передбачає врахування методології та пов'язаної з нею специфіки тієї чи іншої галузі знання, особливостей структурування та змістовного наповнення такої моделі, а також провідних принципів і організаційно-методичних умов системного застосування традиційних і електронних засобів навчання.

В процесі застосування засобів ІКТ виникає ще одна проблема - формування і розвиток інформаційної компетентності. Під інформаційною компетентністю слід розуміти здатності суб'єктів педагогічної взаємодії інтерпретувати, систематизувати, критично оцінювати і аналізувати отриману інформацію, структурувати її і представляти в різних формах і на різних носіях, використовувати при плануванні і реалізації своєї професійної діяльності.

Ефективна реалізація технологічного та дидактичного потенціалу ІКТ, а також їх засобів в навчанні у вищій школі передбачає формування у студентів позитивної мотивації до здійснюваної навчальної діяльності, в тому числі і до самостійної. Сформована і підтримувана на високому рівні мотивація може спиратися не тільки на інтерес учня до комп'ютера як специфічного і сучасного засобу навчання, а й на перенесення інтересу даного студента до самостійної навчальної діяльності взагалі, а також навчання в рамках предметної області конкретної дисципліни зокрема. Важливим є не тільки дослідження загальної проблематики організації навчання із застосуванням ІКТ в вузівській освіті в умовах реалізації положень компетентнісного підходу, а й визначення комплексу організаційних і психолого-педагогічних умов формування і розвитку інформаційної компетентності викладачів і студентів як суб'єктів педагогічної взаємодії в рамках інформаційно-освітнього середовища вузу. Дане положення є особливо значущим при зростанні ролі сегмента самостійної роботи студентів в процесі організації їх навчальної діяльності в умовах оптимізації змісту, структури і обсягу дисциплін у закладах вищої освіти.

Сучасні умови модернізації сфери вищої освіти вимагають від викладача впровадження нових підходів до навчання. Це не традиційна система плюс комп'ютер, це зовсім інший навчальний процес, який має забезпечувати розвиток професійних знань, умінь і навичок студентів, їх комунікацію, творчість, самовдосконалення, постійну самоосвіту. Розвиток сучасного наукового знання та науково-технічні досягнення суспільства обумовили появу нових освітніх можливостей, нових перспективних форм, методів і засобів навчання. З'явилися і дедалі більше актуалізуються такі нові поняття: дистанційна освіта, аудіовізуальні методики навчання, електронна (віртуальна) лекція (Е-лекція), електронний семінар (Е-семінар), електронна консультація (Е-консультація), електронні індивідуальні завдання,

електронна навчальна гра, електронні ситуативні задачі, віртуальні навчальні програми; електронні посібники і підручники, електронний проект; навчальні відео демонстрації, відеоматеріали, відео конференції; навчальне комп'ютерне моделювання, мережне навчання, Інтернет-освітні технології, тощо. Використання комплексу інформаційно-методичного забезпечення дає змогу сформувати інформаційне навчальне середовище, яке сприяє активній педагогічній взаємодії між викладачем, студентами й засобами нових інформаційно-комунікаційних технологій, активізації інформаційної діяльності студентів, розвитку їх творчого потенціалу, розширенню і поглибленню предметних та професійних знань, умінь і навичок.

Усі матеріали комплексу інформаційно-методичного забезпечення (КІМЗ) повинні бути логічно-послідовними, містити достатній обсяг інформації, який необхідний для успішного вирішення навчально-професійних завдань. Разом з тим КІМЗ повинен відповідати традиційним дидактичним і методичним принципам, а саме: науковості (достатня глибина, коректність і достовірність навчального матеріалу); доступності (запропонований програмою навчальний матеріал, форми і методи організації навчальної діяльності повинні відповідати рівню підготовки студента; відповідність матеріалу раніше набутим знанням, умінням і навичкам, встановлюється за допомогою тестування); адаптивності (пристосування до індивідуальних можливостей студента, врахування індивідуальних можливостей сприймати запропонований навчальний матеріал); систематичності і послідовності.

В процесі реалізації комп'ютерних технологій навчання повинна бути виключена їх абсолютизація. Комп'ютеризація повинна виступати не як самоціль, а лише як засіб більш ефективного досягнення цілей, що стоять перед педагогічною системою в цілому. Звідси випливає наступний важливий принцип комп'ютерного навчання: принцип розумного поєднання традиційних і комп'ютерних дидактичних систем. Доцільність повинна визначатися в кожному конкретному випадку виходячи з розв'язуваної дидактичної задачі.

Проаналізувавши основні принципи впровадження інформаційних технологій в процес навчання, можна зробити висновок, що інформатизація освіти забезпечує досягнення двох стратегічних цілей. Перша з них полягає в підвищенні ефективності всіх видів освітньої діяльності на основі використання інформаційних та комунікаційних технологій. Друга - в підвищенні якості підготовки фахівців з новим типом мислення, що відповідає вимогам інформаційного суспільства.

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН

Ж.В.Худа, Є.А.Тонконог

Дніпровський державний технічний університет

Можливості сучасних інформаційно - комунікаційних технологій надають можливість надати нового імпульсу розвитку освітньої системи. Це стосується, в першу чергу, принципових змін у змісті і формах навчання. Новітні технології надають унікальну можливість використовувати специфічний тип навчальних завдань, спрямованих на саморегуляцію і рефлексію діяльності учнів. Ці можливості з'являються завдяки сукупності якостей інформаційно-комунікаційних технологій, в число яких входять: інтерактивність, комунікативність (можливості безпосереднього спілкування, оперативність подання інформації), мультимедійність (представлення

об'єктів і процесів у всіх відомих формах), продуктивність(автоматизації рутинних операцій), здатність до моделювання реальних об'єктів і процесів з метою їх дослідження.

Однією з найважливіших особливостей інформаційно - комунікаційних технологій є їх здатність задіяти наочно-образні компоненти мислення при роз'ясненні теоретичних понять, що дозволяють встановлювати асоціативні зв'язки, розвивати логічне мислення, посилювати творчу складову навчального процесу. Технічні засоби дозволяють студенту самому вибрати найбільш зручні для нього характеристики досліджуваного матеріалу, потрібні саме йому аргументи, вибудовувати їх в певний ланцюжок. В результаті у учнів розвивається інтерес як до предмету, так і до самого процесу добування нових знань. Вони глибше розуміють суть досліджуваного матеріалу, активніше працюють з джерелами інформації, виявляють велику навчальну самостійність. Інформаційні ресурси, грамотно включені в структуру навчальної діяльності, стимулюють творчі функції мислення, розвивають творчі, креативні здібності учнів. В студентів з'являється можливість вибору індивідуального темпу і варіанти вибору форми організації навчальної діяльності. Використання інформаційно - комунікаційних технологій впливає на формування теоретичного, творчого й модульно-рефлексивного мислення тих, хто навчається, комп'ютерна візуалізація навчальної інформації робить істотний вплив на формування уявлень, що займають центральне місце в образному мисленні, а образність подання тих або інших явищ і процесів у пам'яті студента збагачує сприйняття навчального матеріалу, сприяє його науковому розумінню.

Разом з тим, ряд моментів, які торкаються в першу чергу психологічних аспектів інформатизації освітнього середовища, викликають неоднозначне ставлення, зокрема:

- впровадження інформаційно - комунікаційних технологій поступово звільняє людину від ряду форм діяльності, що може привести до втрати деяких корисних навичок;

- просте підсумовування зорових, слухових, тактильних сприйнять не завжди покращує пізнавальні процеси;

- постійне використання медіа ресурсів призводить до зниження ролі емоційних засобів спілкування;

- існує також небезпека формування технократичного мислення, для якого характерні превалювання процесу над метою, втрата цінності людських відносин;

- побоювання викликає надмірне захоплення учнями різного роду гаджетами, перехід в так званий кіберпростір, що може викликати аутизації;

- при відсутності навчальної мотивації до предметного змісту навіть якісно спроектована навчальна робота з використанням новітніх технологій може виявитися марною, студентська аудиторія не завжди має стійку внутрішню мотивацію навчатися, студенти можуть бути незацікавленими і не налаштованими на роботу.

Серед основних питань, які стосуються впровадження сучасних інноваційних технологій навчання — пошуки можливостей органічного поєднання та взаємоузгодження традиційних методів реалізації навчального процесу з новими методами його інтенсифікації й активізації, що забезпечують формування необхідних якостей майбутнього фахівця. Неприпустимо односторонньо підходити до оцінки тієї чи іншої медіа технології. Плануючи застосування електронних засобів в освітньому процесі, викладач повинен оцінити і проаналізувати передбачувані прямі і непрямі впливи на особистість учня.

При визначенні ефективності будь якої методики навчання необхідно враховувати особливості психічних процесів кожного студента, а саме: особливості мислення, властивості пам'яті, окремих аналізаторів (слух, зір). Без урахування

зазначених факторів неможливо досягнути засвоєння студентами навчального матеріалу у повному обсязі. За допомогою комп'ютера педагог має можливість матеріалізувати деякі абстрактні властивості реальних об'єктів, чим сприяє підвищенню доступності навчального матеріалу для засвоєння студентами.

Упровадження інформаційних технологій у професійну підготовку майбутніх фахівців повинно базуватися на особистісноорієнтованій моделі навчання та забезпечувати вплив взаємозумовлених факторів розвитку особистості: мотиваційного, особистісного та діяльнісного. Особистісний чинник враховує активну позицію того, хто навчається, що передбачає сприяння не тільки набуттю професійної компетентності, але й розвитку особистості майбутнього фахівця, його орієнтування на досягнення особистих результатів навчання (відчуття ефективності власної діяльності, зростання академічної успішності, формування вміння прогнозувати результати навчальної та професійної діяльності, здатності застосовувати свої знання під час проходження практики тощо). Діяльнісний чинник враховує суб'єктивний досвід студента, необхідність розвитку його мислення, інтелектуальних і творчих здібностей, формування інформаційної культури.

Сучасні студенти отримують більше можливостей для визначення і реалізації своїх здібностей, самовираження і самоактуалізації в навчальній і професійній діяльності, стають більш прагматичними, оцінюючи особистісні переваги і перспективи саморозвитку в прогнозі свого майбутнього життя. У той же час, інтелектуальні операції мислення (аналогія, моделювання, розуміння, конкретизація, абстрагування, узагальнення і т.п.), що лежать в основі універсальних навчальних дій тих, хто навчається, з різних об'єктивних і суб'єктивних причин перестають ефективно розвиватися в освітньому процесі, і в цьому сумно втрачається роль математичної освіти як одного з найбільш ефективних інструментів особистісного розвитку і освоєння соціального досвіду попередніх поколінь, в тому числі на тлі грандіозних застосувань математики.

Використання обчислювальної техніки розширює можливості людини, проте воно є лише інструментом, знаряддям вирішення завдань, і його вживання не повинне перетворюватися на самоціль. Воно має бути педагогічно виправданим, розглядатись передусім з погляду педагогічних переваг, які воно може забезпечити порівняно з традиційною методикою навчання.

МЕТОД ПРОЕКТІВ, ЯК ЗАСІБ ДОСЯГНЕННЯ УСПІХУ УЧНІВ НА УРОЦІ МАТЕМАТИКИ

Л.Я. Васильєва, В.О. Біла

Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського

Стрімкий розвиток нашого життя вимагає від освіти гнучкості, нових технологій, інноваційних форм і методів навчання.

Пріоритетними для сучасної школи є не самі знання, а особистість учня, його інтелект, духовний світ, його інтереси. Одним зі способів створення таких умов є метод проектів, який останнім часом широко впроваджується в практику навчання.

Використання в освітньому процесі технології проектної діяльності дає змогу навчити дітей самостійно здобувати нові знання та застосовувати їх на практиці. Спрямовання сучасної освіти на профільне навчання робить знання й застосування методу проектів надзвичайно актуальним.

Проектна технологія навчання – це освітня технологія, спрямована на здобуття учнями знань у тісному зв'язку з реальною життєвою практикою, формування в них специфічних умінь і навичок завдяки системній організації проблемно-орієнтованого навчального пошуку.

Технологія проектів передбачає постановку певної проблеми та наступне її розкриття, розв'язання, з обов'язковою наявністю ідеї та гіпотези розв'язування проблеми, чітким плануванням дій, розподілом (якщо розглядається групова робота) ролей, тобто наявністю завдань для кожного учасника за умов тісної взаємодії, відповідальності учасників проекту за свою частину роботи, регулярного обговорення проміжних кроків та результатів.

Метою технології проектів є створення відповідних умов під час освітнього процесу, за яких учні навчаються: взаємодіяти, спілкуючись з однолітками; виявляти та визначати проблеми, проводити їх аналіз та знаходити шляхи їх розв'язання; розвивати вміння працювати з інформацією та знаходити необхідне джерело інформації, застосовувати отриману інформацію з метою розв'язання поставлених завдань.

Нами було розроблено проект «Лайнер успіху», навчальна мета якого повторення та узагальнення знань, умінь та навичок з тем: «Квадратична функція, квадратні рівняння та нерівності», «Рівномірний рух», «Рівноприскорений рух», «Теорема Піфагора», який показує учням практичне застосування набутих знань з алгебри, геометрії та фізики, та значущість математичних компетентностей в різних сферах науки та життя.

Проект передбачає поділ класу на групи-команди: «Дослідження Всесвіту», «Розгадка таємниць давнини», «Створення шедеврів», «Гармонія з природою», «Інтелектуальне благополуччя». З кожною командою працює майстер успіху (студент спеціальності Середня освіта (Математика, фізика)), який, розказує учням про свою мету та пропонує учням залучитись до цієї мети та досягти успіху, вирішуючи відповідні завдання. Після роботи в командах, кожна група презентує свою технологію успіху, а весь клас включається в обговорення розв'язків задач кожної групи і досягає успіху з цією командою.

Даний проект виховує вміння слухати товариша, поважати думку іншого, виховує відповідальності, розвиває логічне мислення, навички праці в групі, формує творчий потенціал, естетичну уяву про красу.

Участь у проектній діяльності сприяє формуванню ключових компетентностей: комунікативної, соціальної, правової, психологічної, інформаційної.

Таким чином, суть проектної технології – це стимулювання інтересу учнів до певних проблем, що передбачають володіння певними знаннями, уміннями і навичками. В результаті правильно організованої проектної діяльності вчитель створює таке освітнє середовище, в якому кожен учень стає активним учасником, а не пасивним спостерігачем у навчанні.

Література

1. Педагогічний проект у школі / О. Озеров, Н. Зотова // Директор школи. – 2011. – №27-28.
2. Метод проектів у навчальному процесі: Метод. посіб. / М. Б. Романовська – Х., 2007.
3. Використання проектних технологій / В. Цибко // Математика. Шкільний світ. – 2014. – №11.
4. Крок до вершини математики (проектні технології навчання математики) / Б. Рубін // Математика в рідній школі. – 2014. – №1.

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ: ОКРЕМІ ЕТЮДИ

І. К. Карімов, А.П. Пододня

Дніпровський державний технічний університет

На сьогодні ніхто не ставить під сумнів тезу про доцільність використання комп'ютерних технологій в освітньому процесі вищої школи. В той же час відомо, що сприйняття навчального матеріалу студентами суттєво залежить від форми його подання та природності застосування тих чи інших засобів. В даній доповіді обговорюється використання табличного процесора MS Excel для ілюстрації певних положень стосовно обчислення інтегралів.

Етюд 1. Положення, що ілюструється: *при наближеному обчисленні інтегралів складну підінтегральну функцію можна апроксимувати простішою, яка допускає аналітичне інтегрування.*

Фрагмент електронної таблиці, наведений на рис. 1, призначений для обчислення значення інтеграла

$$I_1 = \int_0^{1,5} (x \sin(x^3 + 1) + (x + 1) \cos(x^2)) dx.$$

Для вирішення цієї задачі спочатку підінтегральна функція табулюється на проміжку $[0; 1,5]$ (діапазон комірок A1:B17). Потім на основі одержаних значень за допомогою стандартної процедури [1, с. 140-143] будується точкова діаграма з відображенням лінії тренду і її параметрів. Видно, що вихідна функція може бути апроксимована простішою функцією $y = -5,868x^2 + 6,984x + 0,352$; причому точність апроксимації досить висока, про що свідчать значення $R^2=0,919$.

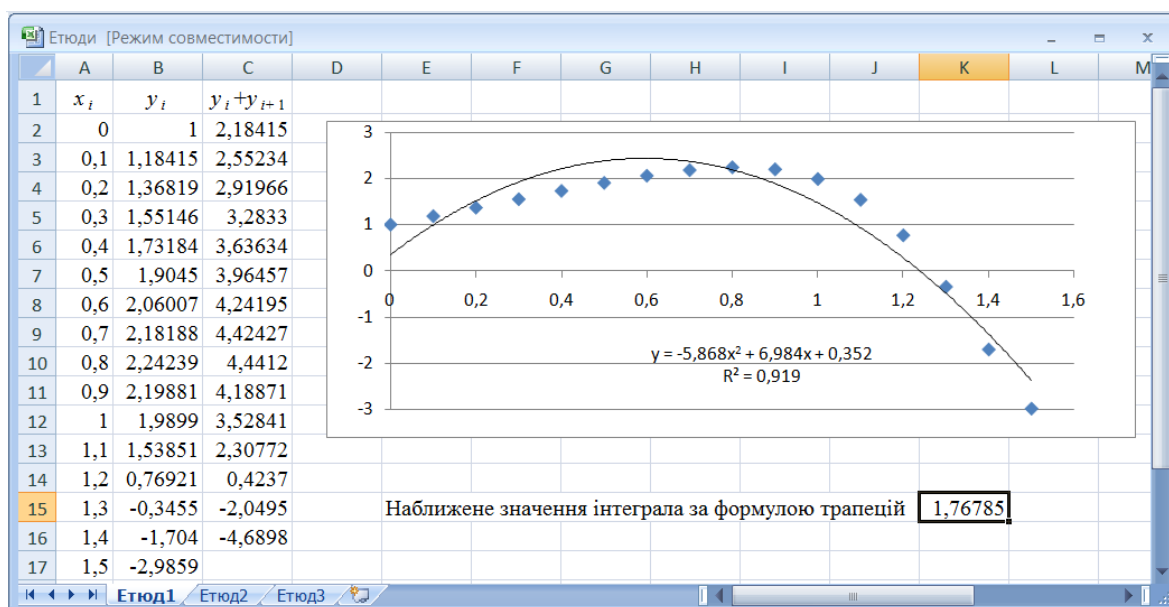


Рис. 1. Фрагмент 1 електронної таблиці

Далі маємо

$$I_1 \approx \int_0^{1,5} (-5,868x^2 + 6,984x + 0,352) dx = \left(-5,868 \frac{x^3}{3} + 6,984 \frac{x^2}{2} + 0,352x \right) \Bigg|_0^{1,5} = 1,79025.$$

Для оцінки одержаного результату на тому ж листі електронної таблиці наведено наближене значення вихідного інтеграла, обчислене за формулою трапецій. Різниця не перевищує 0,023, що для наближених обчислень можна вважати задовільним.

Етюд 2. Положення, що ілюструється: *проміжок інтегрування можна розбити на кілька часткових, а вихідний інтеграл обчислювати як суму значень інтегралів на часткових проміжках.*

Обчислимо значення інтеграла від тієї ж функції, але в інших границях

$$I_2 = \int_0^2 (x \sin(x^3 + 1) + (x + 1) \cos(x^2)) dx.$$

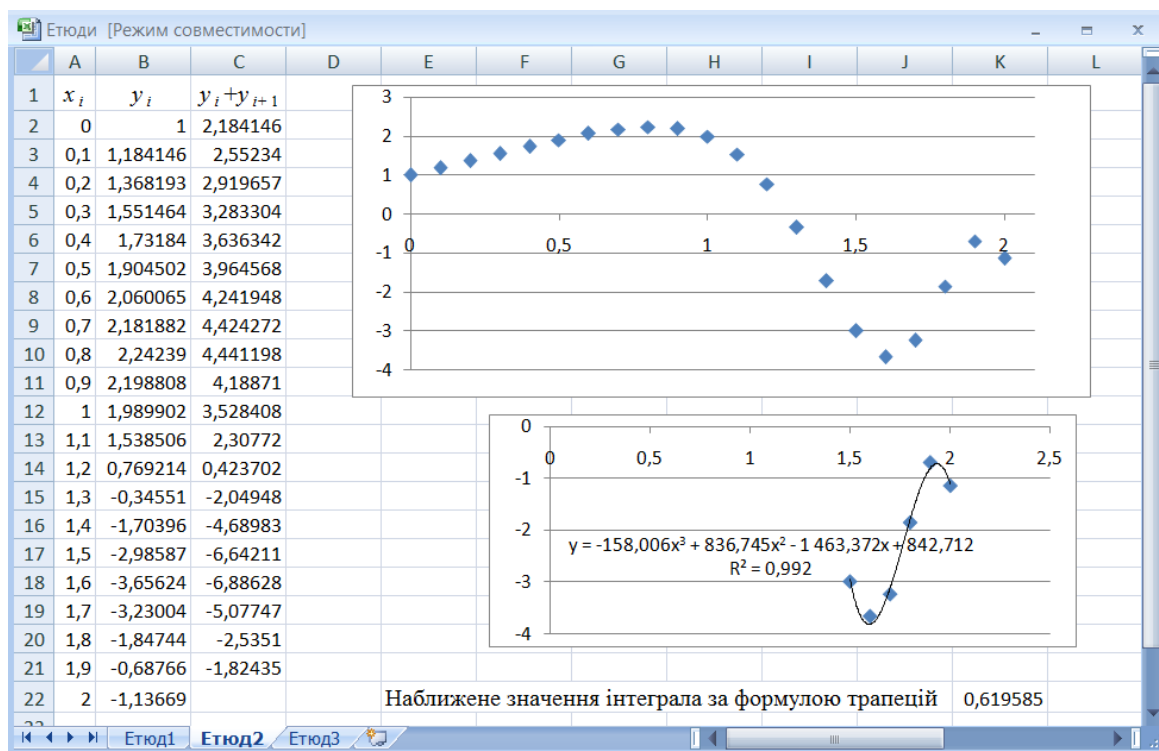


Рис. 2. Фрагмент 2 електронної таблиці

На рис. 2 видно, що однією простою функцією апроксимувати з задовільною точністю вихідну функцію на інтервалі інтегрування не можна. Тому прийнято рішення: розбити проміжок інтегрування на два проміжки і використати формулу

$$I_2 = I_1 + \int_{1,5}^2 (x \sin(x^3 + 1) + (x + 1) \cos(x^2)) dx.$$

Далі маємо

$$\begin{aligned} \int_{1,5}^2 (x \sin(x^3 + 1) + (x + 1) \cos(x^2)) dx &\approx \int_{1,5}^2 (-158,006x^3 + 836,745x^2 - 1463,372x + 842,712) dx = \\ &= \left(-158,006 \frac{x^4}{4} + 836,745 \frac{x^3}{3} - 1463,372 \frac{x^2}{2} + 842,712x \right) \Big|_{1,5}^2 = -1,16028; \\ I_2 &= 1,79025 - 1,16028 = 0,6300. \end{aligned}$$

Література:

1. Карімов І.К. Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач: Навч. посібник/ І.К.Карімов. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. - 283 с.

ВИКОРИСТАННЯ СЕРВІСІВ GOOGLE ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

*** І.О.Карпенко, ** М.В.Карпенко**

**Індустріальний коледж ДВНЗ УДХТУ м. Кам'янське,*

***Національна академія Служби безпеки України*

У сучасному світі розвиток інформаційних технологій впливає на життя людини в усіх сферах її життя та діяльності. У зв'язку з цим методи та засоби навчання у вищих навчальних закладах повинні відповідати сучасним вимогам до освіти майбутніх спеціалістів. Все більш актуальним стає дистанційне навчання студентів.

Проаналізувавши комп'ютерні програми, які може використовувати викладач для здійснення дистанційного навчання, можна виділити найбільш зручний додаток GoogleClassroom. Він є безкоштовним сервісом для навчальних закладів та некомерційних організацій, який надає такі можливості: створення електронного класу для конкретної навчальної групи з кожного предмету, створення оголошень для студентів, розташування в класі лекційного матеріалу у вигляді конспекту або відеолекції, проведення тестування зі створенням електронної відомості, використання електронного конструктора для перевірки теоретичного матеріалу, отримання результатів роботи студентів у вигляді скріншотів, створення коментарів до будь якої публікації та багато інших можливостей.

Для того, щоб створити свій клас необхідно мати обліковий запис Google. Після входу в акаунт у додатках обираємо Google Classroom. Із запропонованих варіантів слід обрати Створити клас. Слід врахувати, що доступ до класу будуть мати лише ті студенти, які мають код вашого класу. Побачити хто є викладачем класу та які студенти приєдналися до нього можна у вкладці Люди. Вкладка Потік відображає інформацію про завдання, які необхідно виконати, терміни виконання завдань та тестів, оголошення, конспекти лекцій тощо. Створити завдання для студентів можна у вкладці Класна робота. Для створення тестів зручно використовувати Google форми. Цей додаток відкривається з Google диска. Наприклад, викладач вищої математики може створити тести, які допоможуть перевірити знання формул, теорем, означень. Тобто створюємо тести з декількома варіантами відповідей. Якщо викладач хоче перевірити практичні навички студента, то можна створити завдання, після виконання якого, студент повинен зробити скріншот розв'язання. Для перевірки знань відповідностей або формул зручно використовувати додаток LearningApps, у якому можна створити інтерактивні завдання. Наприклад, для перевірки знання формул площі фігури, обмеженої лініями можна створити таке завдання: зробити декілька малюнків фігур та стільки ж формул для обчислення їх площ, внести заготовки до вищевказаного додатку у завдання Магніти. Завдання буде зараховане лише тоді, коли студент правильно з'єднає малюнок і формулу.

Додатки Google дозволяють викладачу урізноманітнити форми роботи, спростити перевірку тестів, оскільки її виконує система самостійно, творчо підійти до освітнього процесу. Студент, який навчається дистанційно, має постійний доступ до матеріалів курсу навчання, виконує завдання, дотримуючись встановлених термінів, підтримує зв'язок з викладачем, який за необхідністю може надати консультацію. За допомогою тренувальних тестів можна підготуватися до контрольної, семінару або колоквіуму.

Таким чином, додатки Google є корисними та зручними засобами для здійснення дистанційного навчання як для викладачів так і для студентів.

ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ НЕМАТЕМАТИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Н.М.Волосова, В.І.Сорокін, А.Клюєв

Дніпровський державний технічний університет

В роботі здійснено обґрунтування та розробку окремих складових системи теоретичної освіти та практичного навчання з дисциплін «Вступ до теорії ймовірностей» для студентів спеціальності «Соціологія» та «Інформатика та прикладна лінгвістика» для студентів спеціальності «Філологія» на засадах компетентнісного та особистісно орієнтованого підходів під час навчального процесу.

Під змістом математичної освіти студентів вказаних спеціальностей розуміємо науково обґрунтовану систему дидактично й методично обґрунтованого навчального матеріалу, який містить узагальнені вимоги до кваліфікаційних рівнів, компетентності та соціально важливих властивостей і якостей фахівця в галузях соціології та філології. Фундаментальну математичну підготовку фахівця розглядаємо як результат засвоєння суб'єктом спеціально відібраних математичних знань, умінь, навичок та цінностей, необхідних для успішної професійної діяльності.

Доступність навчання математики для студентів нематематичних спеціальностей забезпечується рівневою диференціацією змісту навчання. Рівні формуються шляхом структурування і відбору змісту математики з урахуванням кореляції цілей математичної та професійної підготовки студентів, не порушуючи логіки вивчення математичних наук.

Розроблено та науково обґрунтовано концептуальну модель на основі компетентнісного підходу, запропоновано часткові моделі, які відображають різні аспекти фундаменталізації математичної освіти майбутніх фахівців (описова, структурна, управлінська, синергетична, ступенева, функціональна) та розкрито умови забезпечення взаємозв'язку цих моделей на різних етапах навчання математики. Розроблене навчально-методичне забезпечення базується на реалізації компетентнісного та особистісно орієнтованого підходів під час навчального процесу.

MATLAB В НАУЦІ

Л.В. Дупленко

Дніпровський державний технічний університет

MATLAB (скорочено від англ. «*Matrix Laboratory*», в російській мові вимовляється як **Матлаб**) — пакет прикладних програм для рішення задач технічних вираховувань й однойменний мову програмування, що використовується в цьому пакеті. Пакет використовує понад мільйон інженерних і наукових працівників.

Linux, MacOS, Solaris (починаючи з версії R2010b підтримка Solaris зупинена) та Windows.

MATLAB як мова програмування була розроблена Кливом Моулером (англ. *Cleve Moler*) в кінці 1970-х років коли він був деканом факультету комп'ютерних наук в Університеті Нью-Мексико. Метою розробки служила задача дати студентам факультету можливість використання програмних

бібліотек Linpack та EISPACK без необхідності вивчення Фортрана. Незабаром нова мова поширилася серед інших університетів і була з великим інтересом зустрінуто вченими, які працюють в області прикладної математики. Зрозумівши, що нова мова володіє великим комерційним потенціалом, він об'єднався з Клівом Моулером і Стівом Бангертом ([англ. Steve Bangert](#)). Спільними зусиллями вони переписали MATLAB на C та заснували в 1984 компанію TheMathWorks для подальшого розвитку. Ці переписані на C бібліотеки довгий час були відомі під назвою JASCRAS. С початку MATLAB призначався для проектування систем управління (основна спеціальність Джона Літтла), але швидко завоював популярність у багатьох інших наукових і інженерних областях. Він також широко використовувався і в освіті, зокрема, для викладання лінійної алгебри та чисельних методів.

Мова MATLAB є високорівневим інтерпретується мовою програмування, що включає засновані на матрицях структури даних, широкий спектр функцій, інтегроване середовище розробки, об'єктно-орієнтовані можливості і інтерфейси до програм, написаних на інших мовах програмування.

Програми, написані на MATLAB, бувають двох типів - функції і скрипти. Функції мають вхідні і вихідні аргументи, а також власний робочий простір для зберігання проміжних результатів обчислень і змінних. Скрипти ж використовують загальний робочий простір. Як скрипти, так і функції зберігаються у вигляді текстових файлів і компілюються в машинний код динамічно. Існує також можливість зберігати так звані *pre-parsed* програми - функції і скрипти, оброблені в вид, зручний для машинного виконання. У загальному випадку такі програми виконуються швидше звичайних, особливо якщо функція містить команди побудови графіків.

MATLAB надає користувачеві велику кількість (кілька сотень) функцій для аналізу даних, які покривають майже всі області математики, зокрема: Матриці і лінійна алгебра - алгебра матриць, лінійні рівняння, власні значення і вектори, сингулярності, факторизація матриць та інші. Багаточлени і інтерполяція - корені многочленів, операції над многочленами і їх диференціювання, інтерполяція і екстраполяція кривих і інші. Математична статистика та аналіз даних - статистичні функції, статистична регресія, цифрова фільтрація, швидке перетворення Фур'є та інші. Обробка даних - набір спеціальних функцій, включаючи побудову графіків, оптимізацію, пошук нулів, чисельне інтегрування (в квадратурі) та інші. Диференціальні рівняння - рішення диференціальних і диференціально-алгебраїчних рівнянь, диференціальних рівнянь із запізненням, рівнянь з обмеженнями, рівнянь в приватних похідних і інші. MATLAB надає зручні засоби для розробки алгоритмів, включаючи високорівневі з використанням концепцій об'єктно-орієнтованого програмування. У ньому є всі необхідні засоби інтегрованого середовища, включаючи відладчик і профайлер. Функції для роботи з цілими типами даних полегшують створення алгоритмів для мікроконтролерів і інших додатків, де це необхідно.

У складі пакету MATLAB є велика кількість функцій для побудови графіків, в тому числі тривимірних, візуального аналізу даних і створення анімованих роликів.

Вбудована на середовище розробки дозволяє створювати графічні інтерфейси користувача з різними елементами управління, такими як кнопки, поля введення і іншими.

Програми MATLAB, як консольні, так і з графічним інтерфейсом користувача, можуть бути зібрані за допомогою компоненти MATLAB Compiler в незалежні від MATLAB виконувані програми або динамічні бібліотеки, для запуску яких на інших комп'ютерах, проте, потрібна установка вільно розповсюджуваної середовища MATLAB Compiler Runtime (MCR)

В MATLAB вбудована програма віртуальної машини `vcgar`.

ОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕРМОВ'ЯЗКОПРУЖНОСТІ ДЛЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТІЛ З ВРАХУВАННЯМ РІДКОГО ТА ТВЕРДОГО СТАНІВ МАТЕРІАЛУ

О.П. Червінко, І.К.Сенченков, С.М. Якименко

*Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України, Київ, Україна;
Центральноукраїнський національний техн. ун-т, Кропивницький, Україна*

Чисельне моделювання технологічних процесів переробки термопластичних полімерних матеріалів, зокрема 3-D принтерних технологій, термічного та ультразвукового зварювання або наплавлення елементів конструкцій, вимагає розв'язання низки специфічних проблем. Вони зумовлені тим, що матеріал в технологічному циклі обробки деформується в широкому інтервалі температур і може перебувати в різних фазових станах зокрема в твердому та рідкому станах. Крім того, в твердому стані полімерні матеріали демонструють такі ефекти в'язкопружної поведінки як релаксація напружень і повзучість. Тому розробка і конкретизація моделей такої комплексної поведінки матеріалу є важливою самостійною проблемою моделювання процесів. Друга проблема полягає в розробці чисельної методики розв'язання крайової задачі термомеханіки, яка відповідає умовам технологічного процесу.

Доповідь присвячена обґрунтуванню узагальненої моделі Максвелла-Шепері [1], яка дозволяє описувати ефекти миттєвої та тривалої пружності, релаксації напружень та повзучості в твердому стані, а також властивості неньютонової в'язкої рідини розплаву полімеру при високих температурах. Конкретизовано температурні залежності параметрів моделі для поліетилену низького тиску.

Розглянуто задачу про термомеханічний процес при стиковому термічному зварюванні поліетиленових труб. В цьому процесі розплавлені торці труб з'єднуються шляхом стискання, після чого охолоджуються. Задача розв'язується методом скінченних елементів з використанням покрокового інтегрування визначаючих рівнянь і рівняння теплопровідності за неявною за часом схемою, ітераційної процедури Стефенса-Ейткена на кожному часовому кроці [2]. Досліджено ефекти повзучості і формуванні грату при стисканні труб та релаксації залишкових напружень при їх остиганні. Досліджено вплив параметрів процесу на кінетику температури, поточного напружено – деформованого стану і рівень залишкових напружень і деформацій. Запропонована наближена схема розрахунку, яка базується на моделі неньютонової рідини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдман А. Я. Прогнозирование деформационно-прочностных свойств полимерных и композиционных материалов. – Л.: Химия, 1988. – 272 с.
2. Рябцев И. А. Наплавка, материалы, технологии, математическое моделирование / И. А. Рябцев, И. К. Сенченков, Е. Турык. – Гливице: Изд-во Силезского политехн. ин-та. 44 – 100. – 2015. – 590 с.

ЗМІСТ

**МЕХАНІКА ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА, МЕХАНІКА РІДИНИ, ГАЗУ
ТА ПЛАЗМИ. МЕТОДИ ОБЧИСЛЕНЬ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ.
АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

1. Гачкевич О.Р. , Ірза Є.М. , Козярьська А. РОЗРАХУНОК ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ТІЛАХ ОБЕРТАННЯ З ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕПЛОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....	4
2.Петров О., Черняков Ю., Стеблянюк П. МОДЕЛЬ ТЕРМО-ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ МАТЕРІАЛУ З ЗУБОМ ПЛИННОСТІ	6
3.Григоренко Я.М., Рожок Л.С. РІВНОВАГА НЕТОНКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕРІЗОМ У ВИГЛЯДІ З'ЄДНАНИХ НАПІВГОФРІВ.....	7
4.Івасько Р.О., Мусій Р.С. , Станік-Беслер А., Торський А.Р. ТЕРМОПРУЖНА ПОВЕДІНКА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО ШАРУ ЗА НЕОДНОРІДНОЇ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ДІЇ.....	9
5. Назаренко В.М., Довжик М.В. РАЗРУШЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ И ВЫСОКОЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕЩИНОЙ ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ТРЕЩИНЫ.....	10
6. Гудрамович В. С., Гарт Е. Л., Марченко О. А. ВПЛИВ ВКЛЮЧЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З ПРЯМОКУТНИМИ ОТВОРАМИ.....	11
7. Бабешко М.Е., Галишин А.З., Савченко В.Г. О ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДАХ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ.....	12
8. Бабешко М.Е. К РАСЧЕТАМ ТЕРМОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ.....	13
9. Дзюба А.П., Сиренко В.Н., Дзюба П.А., Прокопало Е.Ф. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИ- ЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ОСЛАБЛЕННЫХ ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ.....	14
10. Мейш Ю.А., Орленко С.П. ДИНАМИКА СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВРАЩЕНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗКАХ.....	15
11. Козакова Н.Л. ПЛОСКА ЗАДАЧА ПРО РОЗШАРУВАННЯ БАГАТОШАРОВОЇ ОСНОВИ ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ.....	16
12. Луговий П.З., Скосаренко Ю.В., Орленко С.П. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНОК З КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ.....	17

13. Бабич С.Ю., Дихтярук Н.Н., Лазар В.Ф., Игнатишин Н.И. ПЛОСКАЯ КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ДВУХ ОДИНАКОВЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПОЛОС, УСИЛЕННЫХ УПРУГИМИ ПЕРИОДИЧЕСКИ РАСПОЛОЖЕННЫМИ НАКЛАДКАМИ.....	18
14. Беспалова О. І., Борейко Н. П. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОКРИТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КОЛИВАННЯ СКЛАДЕНИХ ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ.....	19
15. Назаренко В.М., Кіпніс О.Л. РІВНОВАГА МІЖФАЗНИХ ЗСУВНИХ ТРІЩИН У КУТОВІЙ ТОЧЦІ МЕЖІ ПОДІЛУ СЕРЕДОВИЩ КУСКОВО-ОДНОРІДНОЇ ІЗОТРОПНОЇ ПЛОЩИНИ	20
16. Беджанова Г.В., Тонкошкур І.С. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ РІДКОЇ ПЛІВКИ ПО КОНІЧНІЙ ПОВЕРХНІ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ.....	21
17. Шеремет В.С., Тонкошкур І.С. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ НЕСТИСЛИВОЇ РІДИНИ В ТРУБЦІ З ЕЛАСТИЧНИМИ СТІНКАМИ.....	22
18. Panin K. DESCRIPTION OF A COMPLEX LOADING IN THE THEORY OF MICROSTRAIN.....	23
19. Степаненко В.О., Черницька О.В. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПОБУДОВИ МОДУЛЯ НЕПЕРЕРВНОСТІ ДЛЯ ФУНКЦІЙ, ЩО ЗАДАНІ ГРАФІЧНО.....	24
20. Багно О.М., Щурук Г.І. ПРО ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В РІДИНІ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗІЛЕМБОВИХ ХВИЛЬ У СИСТЕМІ "ШАР В'ЯЗКОЇ РІДИНИ – ПРУЖНИЙ ПІВПРОСТІР".....	25
21. Петренко Н. В. КВАЗИЛИНЕЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА.....	26
22. Маслов Б. П. КВАЗИЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЗУЧЕСТИ ИЗОТРОПНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ.....	27
23. Чернецкий С.А. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОСТОРОННИХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ.....	28
24. Авраменко В. І., Строева В.О. КУБ У ПОЛІ ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	29
25. Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. ДО ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ДИНАМІЧНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З НАБОРОМ ПОВЗДОВЖНЬО - ПОПЕРЕЧНИХ РЕБЕР.....	31
26. Соловйов І.Л., Худолій С.М., Соловйов В.І. КРИТИЧНІ СТАНИ ЖОРСТКИХ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК, ПРУЖНО ЗВ'ЯЗАНИХ З ПЛАТФОРМОЮ.....	32
27. Ильман В.М., Андриющенко В.А. НАЧАЛА ИЗМЕРЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ.....	33
28. Дронов С.Г. УПРАВЛЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННЫМИ РЕШЕНИЯМИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ	35

29. Самохвалов С.Є., Грищенко А.А. СУПЕРПОТЕНЦІАЛЬНА ФОРМА ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ.....	36
30. Плащенко С.О., Кузьменко В.І. ЗВ'ЯЗАНА ЗАДАЧА ПРО ДЕФОРМАЦІЮ ПОРОЖНИСТОЇ КУЛІ ПІД ДІЄЮ ТИСКУ.....	37
31. Поздєєв В.О., Мельник О.В. ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ТИСКУ В РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАКТУ.....	38
32. Григоренко О.Я., Борисенко М.Ю., Бойчук О.В., Васильєва Л.Я. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЧОТИРИКУТНИХ ПЛАСТИН СКЛАДНОЇ ФОРМИ.....	40
33. Карнаухов В.Г., Козлов В.И., Карнаухова Т.В. ТЕПЛОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГИБКИХ ТОНКОСТЕННЫХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СДВИГОВ.....	41
34. Гарт Е. Л., Терёхин Б. І., Семенча О. О. ВПЛИВ ФОРМИ, РОЗМІРІВ ТА РОЗТАШУВАННЯ ДЕКОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНЧАТО-ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ОТВОРАМИ.....	43
35. Зеленський А. Г. ПРО ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РОЗВ'ЯЗКИ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ МАТЕМАТИЧНІЙ ТЕОРІЇ ТРАНСТРОПНИХ ПЛАСТИН.....	45
36. Сугаль Є.О., Строева В.О. ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СТРАТЕГІЙ ТА ТАКТИК РОЗВ'ЯЗАННЯ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР.....	47
37. Дерезь Є. В., Дерезь Г. О. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПЕРКОЛЯЦІЇ В СИСТЕМІ, ЯКА ЗМІНЮЄТЬСЯ З ЧАСОМ.....	48
38. Смолянський П.С., Шамрай О.В. ОСОБЛИВОСТІ ІТЕРАЦІЙНОГО РІШЕННЯ НЕЛІНІЙНОГО РІВНЯННЯ МАГНІТОСТАТИКИ.....	49
39. Олійник Л.О. ПРО АЛГЕБРАЇЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОПЕРАТОРІВ КРОСОВЕРУ ТА МУТАЦІЇ В ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМАХ.....	51
40. Олійник Л.О., Бажан С.М. ЗАСТОСУВАННЯ АЛГЕБРАЇЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ В ЗАДАЧАХ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕКСТРЕМУМУ ФУНКЦІЙ ОДНІЄЇ ЗМІННОЇ.....	52
41. Давидчик А.Н., Чуприна И.А. ОБ ОДНОМ РАВЕНСТВЕ В ТЕОРИИ ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ.....	54
42. Лабитов Р.Р. РАЗВИТИЕ ПОЛОСЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ ТЕКУЧЕСТИ.....	55
43. Дронов С.Г., Дерез С.А. РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ.....	56

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА. КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА І ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ, МЕТАЛУРГІЇ ТА БУДІВНИЦТВІ. ГЕОТЕХНІЧНА МЕХАНІКА	
44. Кісельова О.М., Притоманова О.М., Стросва В.О., Кісельов М.Я. ПРЕЗЕНТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ NZORM ТА ОГЛЯД ДЕЯКИХ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ.....	57
45. Гачкевич О.Р., Терлецький Р.Ф., Станік-Беслер А. МЕТОДИ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТОТЕРМОПРУЖНОСТІ.....	58
46. Сорокатиий М.І., Петрученко О.С., Терещук О.В. КОЛИВАННЯ ТА СТІЙКІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ БОЙОВИХ МАШИН ТА СПОРУД, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ ПІД ДІЄЮ НАДЗВУКОВИХ ПОТОКІВ ГАЗУ	60
47. Пошивалов В.П., Даниев Ю.Ф., Резниченко Л. В., Телегина И. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.....	64
48. Пошивалов В. П., Телегина И.И. ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СПЛАВА АМг6М ЗАСЧЕТ ВВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ	65
49. Кирия Р.В., Смирнов А.Н., Мостовой Б.И. ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК НА РОЛИКИ ТРУБЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА.....	66
50. Зеленский В.С., Быстров В.М., Декрет В.А. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА, СЛАБОАРМИРОВАННОГО КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ	70
51.Бразалук Ю.В., Губин А.И., Дидинская Е.О., Евдокимов Д.В. АСИМПТОТИЧЕСКИЙ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РОСТА ПАРОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ.....	71
52. Монастырский В.Ф., Новиков Л.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ.....	73
53. Савченко В.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВРЕЖДЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИ БОКОВОМ ТЕМОСИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА КОРПУС РАКЕТЫ.....	74
54. С'янов О.М., Косухіна О.С., Поляков Р.М., Косухін О.В. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ПОВТОРНО КОРОТКОЧАСНИМИ РЕЖИМАМИ РОБОТИ З ЧАСТОТНО- ЗАЛЕЖНИМИ ІНДУКЦІЙНИМИ РЕОСТАТАМИ.....	76
55. Зінчук Л.П., Карлаш В.Л. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПЕРЕЧНИХ І ПОЗДОВЖНИХ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРІВ	78
56. Karlash V.L., Zinchuk L.P. INFLUENCE OF THE LOADING CONDITIONS ON THE FORCED VIBRATIONS FOR THIN PIEZOCERAMIC BARS	79
57. Подгорний О.Р., Сидоров М.В. МЕТОД ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ТЕЧІЙ У ОБЛАСТЯХ, ЩО МІСТЯТЬ ВОДОНЕПРОНИКНІ ВКЛЮЧЕННЯ.....	80
58. Шпачук В.П., Чупринін О.О., Засядько М.А., Дудко В.В. МОДЕЛЮВАННЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СТВОРЕННЯ ВУЗЛІВ З'ЄДНАННЯ БАГАТОКООРДИНАТНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ВІБРОСТЕНДІВ.....	82

59. Сасов О.О., Павлюченко Д.О. УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ РІЗАННЯ ТА ПОДАЧЕЮ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІД ЧАС УТИЛІЗАЦІЇ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН	83
60. Nadryhailo T. Zh., Boris B. A. MODELING THE CRYSTALLIZATION OF THE STEEL INGOT.....	84
61. Романюк О. Д., Кравчук О. Є. ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МАСИ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ.....	85
62. Косенко Є.В., Шевельова А.Є. ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОКРИСТАЛІВ.....	86
63. Сорока К. О. ВИКОРИСТАННЯ CAN МЕРЕЖІ І КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ ПЕРЕДНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	87
64. Шумейко О.О., Веремейченко М.О. ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ СТЕГАНОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ	88
65. Шумейко О.О., Щербинський Б.І. ПОБУДОВА АДАПТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОШУКУ	89
66. Войтович М.І., Ліщинська Х.І., Сеник А.П. ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ НЕОДНОРІДНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ СТРИЖНІВ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ ПЕРЕРІЗІВ.....	90
67. Василевська М. О., Дзюба А. П. ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КІСТКОВОГО МАСИВУ ТА ЕНДОПРОТЕЗА ТАЗОСТЕГНОВОГО СУГЛОБА	91
68. Григоренко А.Я., Лось В.В., Маланчук В.А., Тормахов Н.Н. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТОМАТОЛОГИИ.....	92
69. Богданов В.Л., Григоренко О.Я., Сторожук Є.А., Тормахов М.М. ПРО ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РІЗЬБИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СИСТЕМИ ІМПЛАНТАТ-КІСТКА...	93
70. Богданов В.Л., Кипнис А.Л. О ПОДХОДЕ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАЗРУШЕНИЯ БИОДНОРОДНОГО СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА СЖАТИЕМ ВДОЛЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СРЕД.....	95
71. Амуров А.В., Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ О ТЕЧЕНИИ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ С НЕИЗВЕСТНОЙ СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ.....	96
72. Безцінний А.І., Волосова Н.М., Яцук А.Л. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОЛИКООПОРИ ОБЕРТАЮЧИХ БАРАБАНІВ.....	97
73. Серета Б.П., Гайдаєнко О.С. МОДЕЛЮВАННЯ ОТРИМАННЯ АЛІТОВАНИХ ПОКРИТТІВ ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ.....	98
74. Серета Б.П., Муковська Д.Я. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ САМОСКІДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ВИТРАТУ ПАЛИВА.....	99

75. Шумейко О.О., Бобров В.В. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ КАДРОВОГО СКЛАДУ ІТ-ПІДПРИЄМСТВА.....	100
76. Дацків (Криворучко) А.Г., Левченко М.С., Лобода В.В. МІЖФАЗНЕ ЕЛЕКТРОІЗОЛЬОВАНЕ ВКЛЮЧЕННЯ ЗІ ЗМІННОЮ ЖОРСТКІСТЮ У П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОМУ БІМАТЕРІАЛІ	101
77. Шматко Д.З., Авер'янов В.С., Чехлатий М.М. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АКУСТИЧНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ РОБОТИ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ.....	102
78. Вернигора В.Д., Надрыгайло Т.Ж. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ШЛАМА В МОЮЩЕМ РАСТВОРЕ.....	102
79. Сокол А.М. СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ НА УСТАНОВІЦІ ВАЛКІВ-КРИСТАЛІЗАТОРІВ.....	105
80. Gorbunovich I.V. RESEARCH ACTUALITY OF MECHANICAL BEHAVIOUR OF ROTATING SUPER LONG ROD IN A CYLINDRICAL CAVITY.....	106
81. Марченко С.В., Загребяев К.С., Сотник А.А. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОЙ ФАР С СОГЛАСУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ.....	107
82. Бобилев Д. Є. ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНІКИ.....	110
83. Мещанинов С.К., Волошин Р.В., Макаrchук С.І. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ВИРОБІВ З ЖАРОСТІЙКИХ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ.....	111
84. Поліщук С.З., Фалько В.В., Білик Є.Ю., Морозова Т.В., Поліщук А.В., Остапчук А.О. ПРОГНОЗНА ГАРАНТОВАНА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ ТОЧКОВОГО ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ.....	112
85. Макаrchук С.І. ОЦІНКА ЗНОСУ РІЗЦІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКАЗНИКА ЛЯПУНОВА.....	112
86. Телипко Л.П., Великодний Е.И. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСИВНОГО НАГРУЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	114
87. Ковальчук С.В., Дегтярь В.Г. ГІДРОМЕХАНІЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ФІЛЬТРАЦІЇ ДО СВЕРДЛОВИНИ.....	115
88. Філіпова О. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ МІЖФАЗНОЇ ТРІЩИНИ В П'ЄЗОМАГНІТНОМУ МАТЕРІАЛІ.....	116
89. Молчанов В.Ф., Остроух Д.В. ЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ СОЖ НА ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ШЛИФОВАНИЯ.....	116
90. Ветвицький І.Л., Колесник І.О., Поліщук С.З., Вовк М.В., Вовк Д.В., Джоболба М.В. ОСНОВНІ ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	117

91. Буря О.І., Єрьоміна К.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАФІТОПЛАСТІВ	118
92. Ларіонов Г.І., Ларіонов М.Г., Пазиніч А.В. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛАСТИЧНОЇ СТРІЧКИ З ЖОРСТКИМ БАРАБАНОМ БЕЗ ТЕРТЯ.....	119
93. Бельмас І.В., Колосов Д.Л., Бобильова І.Т., Гумаров О.В. НАПРУЖЕНИЙ СТАН В КОМПОЗИТНІЙ КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ.....	122
94. Бельмас І.В., Колосов Д.Л., Бобильова І.Т., Довгий Є.В. НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГУМОТРОСОВОГО КАНАТУ НА БАРАБАНІ.....	124
95. Танцура Г.І., Єднач Р.В. НАПРУЖЕНИЙ СТАН ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ.....	126
96. Колосов Д.Л., Білоус О.І., Гуров І.А. МІЦНІСТЬ ВІДНОВЛЕНОЇ ГУМОТРОСОВОЇ СТРІЧКИ	128
97. Никулин А.В., Никулин А.А. ТРИБОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ОМД.....	130
ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ І МЕХАНІКИ, КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ	
98. Тарасенкова Н. А. СИСТЕМНО-СИНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД У МЕТОДИЦІ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ.....	131
99. Крилова Т.В. МОНІТОРИНГ ЗАЛИШКОВИХ ЗНАНЬ ПЕРШОКУРСНИКІВ З ЕЛЕМЕНТАРНОЇ МАТЕМАТИКИ.....	133
100. Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Поляков Н.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	134
101. Стеблянюк П.О., Стеблянюк О.О. РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В РЕАЛІЗАЦІЇ ВИКЛАДАННЯ КУРСУ ВИЩОЇ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ	136
102. Бондаренко Я.І., Карімов І.К. РЕАЛІЗАЦІЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ ІНТЕГРАЛІВ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	137
103. Дерещ Є. В. ВДОСКОНАЛЕННЯ МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МАТЕМАТИКИ З ДИСЦИПЛІНАМИ ЕКОНОМІЧНОГО НАПРЯМУ.....	139
104. Дерещ Є. В. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ ТЕСТІВ З ВИЩОЇ ТА ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ.....	141
105. Волосова Н.М., Стеблюк Н.Ф. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРАТЕГІЙ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ТА СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ.....	142
106. Карімов І.К., Карімов Г.І. ЩОДО КОНЦЕПЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 073 «МЕНЕДЖМЕНТ»	143

107. Худа Ж.В., Тонконог Є.А. ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАННІ	144
108. Худа Ж.В., Тонконог Є.А. ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ У ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН.....	146
109. Васильєва Л.Я., Біла В.О. МЕТОД ПРОЕКТІВ, ЯК ЗАСІБ ДОСЯГНЕННЯ УСПІХУ УЧНІВ НА УРОЦІ МАТЕМАТИКИ.....	148
110. Карімов І. К., Пододня А.П. ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ: ОКРЕМІ ЕТЮДИ.....	150
111. Карпенко І.О., Карпенко М.В. ВИКОРИСТАННЯ СЕРВІСІВ GOOGLE ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ.....	152
112. Волосова Н.М., Сорокін В.І., Ключев А. ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ НЕМАТЕМАТИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....	153
113. Дупленко Л.В. МАТЛАВ В НАУЦІ.....	153
114. Червінко О.П., Сенченков І.К., Якименко С.М. ОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕРМОВ'ЯЗКОПРУЖНОСТІ ДЛЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТІЛ З ВРАХУВАННЯМ РІДКОГО ТА ТВЕРДОГО СТАНІВ МАТЕРІАЛУ.....	155

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЗЧИК

А

Авер'янов В.С.	102
Авраменко В.І.	29
Амуров А.В.	96
Андрющенко В.А.	33

Б

Бабешко М.Е.	12, 13
Бабіч С.Ю.	18
Багно О.М.	25
Бажан С.М.	52
Беджанова Г.В.	21
Беспалова О.І.	19
Безцінний А.І.	97
Бельмас І.В.	122, 124
Бистров В.М.	70
Біла В.О.	148
Білик Є.Ю.	112
Білоус О.І.	128
Бобилєв Д.Є.	110
Бобильова І.Т.	122, 124
Бобров В.В.	100
Богданов В.Л.	93, 95
Бойчук О.В.	40
Борейко Н.П.	19
Бондаренко Я.І.	137
Борис Б.А.	84
Борисенко М.Ю.	40
Бразалук Ю.В.	71, 96, 134
Буря О.І.	118

В

Василевська М.О.	91
Васильєва Л.Я.	40, 148
Великодній Є. І.	114
Веремейченко М.О.	88
Вернигора В.Д.	102
Ветвицький І.Л.	117
Вовк М.В.	117
Вовк Д.В.	117
Войтович М.І.	90
Волосова Н.М.	97, 142, 153
Волошин Р.В.	111

Г

Гарт Е.Л.	11, 43
Гайдаєнко О.С.	98
Галішин О.З.	12
Гачкевич О.Р.	4, 58

Горбунович І.В.	106
Григоренко О.Я.	40, 90, 92, 93
Григоренко Я.М.	7
Грищенко А.А.	36
Губін А.І.	71
Гудрамович В. С.	11
Гумаров О.В.	122
Гуров І.А.	128

Д

Давидчик О.М.	54
Дацків (Криворучко)	101
Данієв Ю.Ф.	64
Дегтяр В.Г.	115
Декрет В.А.	70
Дерець Г.О.	48
Дерець Є.В.	48, 139, 141
Дерець С.О.	56
Джоболба М.В.	117
Дзюба А.П.	14, 91
Дзюба П.А.	14
Дідінська Є. О.	71
Дихтярук Н.Н.	18
Довгий Є.В.	124
Довжик М.В.	10
Дронов С.Г.	35, 56
Дудко В.В.	82
Дупленко Л.В.	153

Є

Євдокімов Д.В.	71, 96, 134
Єднач Р.В.	126
Єрьоміна К.А.	118

З

Загребаєв К.С.	107
Засядько М.А.	82
Зеленський Ф.Г.	45
Зеленський В. С.	70
Зінчук Л.П.	78, 79

І

Івасько Р.О.	9
Ігнатишин Н.І.	18
Ільман В.М.	33
Ірза Є.М.	4

К	
Карімов Г.І.	143
Карімов І.К.	137, 143, 150
Карлаш В.Л.	78, 79
Карнаухов В.Г.	41
Карнаухова Т.В.	41
Карпенко І.О.	152
Карпенко М.В.	152
Кісельов М.Я	57
Кісельова О.М.	57
Кіпніс О.Л.	20, 95
Кірія Р.В.	66
Клюєв А.	153
Ковальчук С.В.	115
Козакова Н.Л.	16
Козлов В.І.	41
Козярська А.	4
Колесник І.О.	117
Колосов Д.Л.	122, 124, 128
Косенко Є.В.	86
Косухін О.В.	76
Косухіна О.С.	76
Кравчук О.Є.	85
Крилова Т.В.	133
Кузьменко В.І.	37

Л	
Лабібов Р.Р.	55
Лазар В.Ф.	18
Ларіонов Г.І	119
Ларіонов М.Г.	119
Левченко М.С.	101
Ліщинська Х.І.	90
Лобода В.В.	101
Лось В.В.	92
Луговой П.З.	17

М	
Макарчук С.І.	111, 112
Маланчук В.А.	92
Марченко О.А.	11
Марченко С.В.	107
Маслов Б.П.	27
Мейш В.Ф.	31
Мейш Ю.А.	15, 31
Мельник О.В.	38
Мещанінов С.К.	111
Молчанов В.Ф.	116
Монастирський В.Ф.	73
Морозова Т.В.	112

Мостовой Б.І.	66
Муковська Д.Я.	99
Мусій Р.С.	9

Н	
Надригайло Т.Ж.	84, 102
Назаренко В.М.	10, 20
Нікулін О.В.	130
Нікулін О.О.	130
Новіков Л.А.	73

О	
Олійник Л.О.	51, 52
Орленко С.П.	15, 17
Остапчук А.О.	112
Остроух Д.В.	116

П	
Павлюченко Д.О.	83
Пазиніч А.В.	119
Панін К.	23
Петренко Н.В.	26
Петров О.Д.	6
Петрученко О.С.	60
Плашенко С.О.	37
Подгорний О.Р.	80
Пододня А.П.	150
Поздєєв В.О.	38
Поліщук А.В.	112
Поліщук С.З.	112, 117
Поляков Н.В.	134
Поляков Р.М.	76
Пошивалов В. П.	64, 65
Притоманова О.М.	57
Прокопало Є.Ф.	14

Р	
Резниченко Л.В.	64
Рожок Л.С.	7
Романюк О.Д.	85

С	
Савченко В.Г.	12, 74
Самохвалов С.Є.	36
Сасов О.О.	83
Семенча О.О.	43
Сеник А.П.	90
Сенченков І.К.	155
Середа Б.П.	98, 99

Сидоров М.В.	80
Сиренко В.Н.	14
Скосаренко Ю.В.	17
Смирнов А.Н.	66
Смолянський П.С.	49
Сокол А.М.	105
Соловйов В.І.	32
Соловйов І.Л.	32
Сорока К.О.	87

Сорокати́й М.І.	60
Сорокін В.І.	153
Сотник О.О.	107
Станік-Беслер А.	9, 58
Стеблюк Н.Ф.	142
Стебля́нко О.О.	136
Стебля́нко П.О.	6, 136
Степаненко В.О.	24
Сторожук Є.А.	93
Строєва В.О.	29, 47, 57
Сугаль Є.О.	47
С'янов О.М.	76

Т

Танцура Г.І.	126
Тарасенкова Н.А.	131
Телегіна І. І.	64, 65
Тели́пко Л.П.	114
Терещук О.В.	60
Терлецький Р.Ф.	58
Терьохін Б.І.	43
Тонконог Є.А.	144, 146
Тонкошкур І.С.	21, 22
Тормахов М.М.	92, 93
Торський А.Р.	9

Ф

Фалько В.В.	112
Філіпова О.С.	116

Х

Худа Ж.В.	144, 146
Худолій С.М.	32

Ч

Черві́нко О.П.	155
Чернецький С.А.	28
Черницька О.В.	24
Черняков Ю.А.	6
Чехлатий М.М.	102
Чуприна І.А.	54
Чупринін О.О.	82

Ш

Шамрай О.В.	49
Шевельова А.Є.	86

Шеремет В.С.	22
Шматко Д.З.	102
Шпачук В.П.	82
Шумейко О.О.	88, 89, 100

Щ

Щербинський Б.І.	89
Щурук Г.І.	25

Я

Якименко С.М.	155
Яцук А.Л.	97