

УДК 539.3

**ВИВЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТІЛ ІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ  
СТРУКТУРНО НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ: ОГЛЯД  
ПУБЛІКАЦІЙ ДО 2010 Р.****Я.М. Пастернак<sup>1</sup>**

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки

**Г.Т. Сулим<sup>2</sup>**

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри механіки

**Р.М. Пастернак<sup>1</sup>**

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та електротехніки

<sup>1</sup> *Луцький національний технічний університет*<sup>2</sup> *Львівський національний університет імені Івана Франка*

У роботі здійснено огляд сучасних наукових досліджень щодо вивчення взаємодії фізико-механічних полів у деформованих твердих тілах із тонкими неоднорідностями, отворами, тріщинами та іншими дефектами.

**Ключові слова:** термомагнітоелектропружність, тріщина, тонке включення, анізотропний, композит, інтелектуальний матеріал

На даний час людство, пройшовши епохи каменю, бронзи, заліза та пластику, увійшло в еру передових матеріалів (Advanced Materials Age). Значний інтерес до прикладних та теоретичних досліджень композитних структурно неоднорідних тіл зумовлений розвитком шести основних напрямів технологій [1]: нанотехнології, біомеханіки, сенсорних технологій, енергоощадності, виготовлення високотехнологічних матеріалів (high-performance materials), а також паливних елементів. За даними [2] питома вага наукових теорій та засобів моделювання у загальному процесі розробки та виробництва передових матеріалів за десятибальною шкалою складає 5–8 балів, тобто, чинить істотний вплив.

Проектування сучасних композитів не обходиться без використання тонких елементів геометрії та структури. Зокрема, у роботах [3–6] відзначена значна перевага армування стрічками замість волокон: міцність на розтяг у трансверсальному напрямі досягає 50–70 % від величини міцності у поздовжньому, натомість використання волокон дає, зазвичай, лише 2–15 %. Експериментальних досліджень властивостей нанокompозитів стосуються праці [7–10]. У роботах [11, 12] обґрунтовано також можливість розрахунку композитів із карбонових нанотрубок за допомогою методів механіки континууму.

Розрахункові моделі суцільних середовищ також невпинно розширюються в сенсі врахування якомога більшої кількості фізичних

властивостей тіл та полів, що діють у них. Одними з ключових у цьому сенсі є методи розрахунку та проектування смарт- (інтелектуальних) матеріалів, здатних змінювати свої властивості, самостійно налаштовуючись на оптимальні для матеріалу і конструкції режими роботи. П'єзоелектричні матеріали, основною властивістю яких є взаємозв'язок впливів електричного та механічного полів, вже доволі давно і щораз ширше використовують в інтелектуальних електромеханічних системах для виготовлення сенсорів, перетворювачів та актуаторів [13–16]. Зокрема, п'єзоелектричні сенсори часто впроваджуються в конструкційні елементи для контролю наслідків прикладеного навантаження. Нещодавно запропоновано [17, 18] використовувати композити на основі п'єзоелектричних матриць із п'єзоволокнами, що дають можливість проектувати пристрої з великою кількістю додаткових функцій, зокрема, моніторингу внутрішнього стану, перетворення енергії, керування вібраціями, демпфування тощо [17].

Вагоме місце серед новітніх матеріалів посідають магнітоелектричні композити, тобто, виготовлені за керамо- чи нанотехнологіями тверді суміші п'єзوماгнітної та п'єзоелектричної компонент [19–22], у яких магнітоелектричний ефект виникає внаслідок механічної взаємодії цих двох фаз. Огляд лінійних теорій електромагнітомеханіки таких діелектриків, а також виклад локально-градієнтної теорії діелектриків подано у роботах [23, 24]. Унаслідок структурної неоднорідності магнітоелектричних композитів, одна із фаз може розглядатися як сукупність мікрвключень. З іншого боку, недосконалість чи порушення технології виробництва або експлуатації таких композитів можуть зумовити утворення на мезо- та макрорівнях дефектів гомогенізованої структури у вигляді тонких включень або тріщин.

Тонкі неоднорідності можуть чинити також і небажаний вплив, адже вони є одними з найпоширеніших типів дефектів конструкційних матеріалів. До них належать тріщини, тонкі плівкові прошарки, заповнені чужорідними матеріалами порожнини тощо. Результати експериментальних досліджень впливу на втому металів різноманітних порожнин і неметалевих включень та класифікацію останніх подано у книзі [25]. У монографії П.В. Яснія [26] виявлений багатоплановий вплив попереднього пластичного деформування на механічні властивості конструкційних матеріалів та їхню міцність. Доведено, що істотну роль при цьому відіграють дрібні включення.

Із поширенням ін'єкційних технологій заліковування тріщин [27–30] задача розрахунку напруженого стану тіла з включеннями з урахуванням варіювання механічних і теплофізичних характеристик наповнювача набуває все більшої ваги [27, 31], а додаткове врахування анізотропії

властивостей матеріалу є важливим аспектом при дослідженні цього комплексу задач.

**Основні методи дослідження тіл із тонкими неоднорідностями.** Проблем побудови моделей та методів дослідження тонких включень у пружних та термопружних середовищах стосуються оглядові праці Д.В. Грилицького, Г.Т. Сулима та Й.З. Піскозуба [32, 33], Г.Я. Попова [34], Т. Mura [35] та ін. Практично всеохоплюючий огляд робіт, що стосуються тематики тонких неоднорідностей подано у монографії Г.Т. Сулима [36]. Зокрема, у ній зазначено, що для аналізу тіл із тонкими включеннями використовують такі основні підходи: 1) попередній розгляд включення довільної форми, а потім істотне зменшення одного із його розмірів; 2) використання експериментальних методів; 3) докладний розгляд напружено-деформованого стану біля вістря неоднорідності та межі поділу матеріалів за допомогою асимптотичних методів; 4) опрацювання специфічних теорій, що дала би можливість досить просто розв'язувати відповідні задачі з урахуванням саме малої товщини дефекту; 5) застосування прямих числових методів.

Математична складність першого підходу зумовила появу специфічних теорій тонких включень, у яких властивості неоднорідності усереднюються за товщиною, а певні параметри взагалі відкидаються. Тобто, саме включення вилучається із розгляду, а його вплив описується певними умовами неідеального контакту на деякій серединній поверхні (лінії у двовимірних задачах). Вперше таку ідею сформулював Я.С. Підстригач [37] стосовно задач теплопровідності, побудувавши відповідні умови взаємодії. Цей підхід аналізу тіл із тонкими включеннями та щілинами пізніше отримав значний розвиток у роботах В.М. Александрова, О.С. Андрейківа, Н.Х. Аругюняна, Л.Т. Бережницького, В.В. Божидарніка, Я.М. Григоренка, О.Я. Григоренка, Д.В. Грилицького, В.Т. Грінченка, В.С. Гудрамовича, О.М. Гузя, І.Т. Денисюка, А.П. Зінковського, О.О. Євтушенка, С.О. Калоєрова, Г.С. Кіта, Я.І. Кунця, Р.М. Кушніра, В.В. Лободи, В.М. Максимовича, Р.М. Мартиняка, В.В. Мелешка, В.В. Михаськіва, О.Б. Мовчана, В.В. Можаровського, М.Ф. Морозова, М.М. Николишина, В.К. Опанасовича, В.А. Осадчука, В.І. Острика, В.В. Панасюка, В.Г. Попова, Г.Я. Попова, Я.Г. Савули, В.С. Саркієяна, М.Г. Сташука, Г.Т. Сулима, А.О. Сяського, Л.А. Фільштинського, П.О. Фомічова, М.В. Хая, Г.П. Черепанова, К.С. Чобаняна, А.С. Хачікяна, Е.Е. Gdoutos, Г.С. Sih та ін. [26, 32, 36, 38–75]. Поєднання континуумних та молекулярних моделей при аналізі тонких неоднорідностей будови матеріалу також використано у роботах Т. Belytschko, S.P. Xiao [76], S. Badia та ін. [77].

У зв'язку з активним розвитком механіки руйнування, значна кількість робіт стосується вивчення задач для тіл зі щілинами та тріщинами, які є частковим випадком загального класу дефектів типу тонких неоднорідностей і моделюються математичним розрізом із заданими крайовими умовами на ньому. Зокрема, слід відзначити праці О.Є. Андрейківа, О.П. Дацишин, Р.М. Кушніра, З.Т. Назарчука, М.М. Николишина, В.А. Осадчука, В.В. Панасюка, М.П. Саврука, Г.П. Черепанова та інших вчених [60, 78–85].

Основні результати, що стосуються, загалом, двовимірних задач теорії тонких деформівних включень в ізотропних тілах, були отримані на основі застосування методів функцій стрибка [36], лінійного розвинення комплексних потенціалів [65, 86] та розривних розв'язків [68, 69]. У роботі [87] вперше розв'язано задачу для тонкого пружного включення у повному спектрі зміни його властивостей, а також знайдено асимптотичний розподіл напружень та переміщень в околі вершини такого включення.

Дещо менше уваги приділено просторовим задачам теорії пружності для тіл із тонкими включеннями. Зокрема, у працях [88–90] досліджено коефіцієнти інтенсивності напружень для жорстких пластинчатих включень. У роботах [91, 92] розглянуто жорсткі дискові включення (тонкі абсолютно жорсткі влючення називають подеколи антитріщинами) на межі поділу пружних півпросторів, а також взаємодію включень і тріщин у півпросторі. Тонкі жорсткі включення в пружному середовищі досліджено також у монографії [93]. Просторові задачі для тонких податних включень (вінклерова модель) детально розглянуті у монографіях [94, 95].

Спеціальні підходи, зокрема й метод функцій стрибка [36], продуктивні при розв'язуванні задач для лінійних включень у безмежних середовищах, смугах, півплощинах тощо, тобто для задач, у яких геометричні параметри та вид і спосіб навантаження дають можливість записати зручну для подальших обчислень систему інтегральних рівнянь. Що стосується викривлених включень, то з використанням таких підходів та їхніх спеціальних модифікацій на цей час було досліджено лише включення уздовж дуги кола [96, 97].

Застосування прямих числових методів [98–100] дає можливість розглядати різноманітні задачі для обмежених і необмежених тіл із прямолінійними та викривленими включеннями, однак їхня ефективність істотно залежить від використаних методів моделювання тонких елементів тіл [98, 99] та можливостей регуляризації побудованих рівнянь.

Тому при дослідженні напруженого стану скінченних тіл із тонкими непрямолінійними включеннями видається ефективним поєднання

прямих числових методів (граничних чи скінченних елементів) зі спеціальними підходами. Зокрема, у роботах [43, 101] модель тонкого податного включення уведено в метод скінченних елементів. У роботі [102] на основі методу граничних елементів (МГЕ) побудована модель тіла з тонким жорстким включенням, що описується стрижневими скінченними елементами. Цю модель розвинуто в роботі [103] для випадку податних включень. Унаслідок врахування при розбитті тіла малої товщини включення при розв'язуванні задач використовуються спеціальні підходи обчислення квазісингулярних інтегралів.

При моделюванні методом граничних елементів тонких включень їхній вплив на основний матеріал часто замінюють силами, розподіленими з певною густиною уздовж лінії, що лежить на серединній поверхні включення (метод масових сил). Такий підхід використано при моделюванні паль у ґрунті (модель згину стрижнів) в роботі [104], для дослідження впливу загвинчених у породу утримуючих болтів (модель розтягу-стиску стрижнів) [105], для моделювання прямолінійних армувань бетону [106, 107]. Найповнішою серед розглянутих є модель [107], оскільки вона враховує розтяг, зсув та згин тонкого включення. Проте внаслідок використання методу масових сил у таких моделях не вдається описати поперечне деформування включення, яке супроводжується стрибком переміщень при переході через серединну поверхню. Саме тому згадані вище моделі тонкої неоднорідності потребують розвитку в напрямі врахування також і поперечної податності матеріалу включення, зокрема, із використанням підходів методу функцій стрибка. Крім того, видається необхідним врахувати вплив можливої викривленості форми тонкого включення.

#### **Анізотропні середовища з тріщинами та тонкими включеннями.**

На цей час достатньо повно опрацьована математична теорія тріщин в анізотропних середовищах, а докладний виклад методики розв'язування відповідних задач за допомогою інтегральних рівнянь на основі комплексних потенціалів С.Г. Лехніцького [108] та огляд відповідних літературних джерел можна знайти у монографії [42]. Основи теорії тонких пружних прямолінійних включень, механічні властивості яких можуть змінюватися у найширшому спектрі від абсолютної податності (тріщини) до абсолютної жорсткості, в анізотропних середовищах відображено у монографії [36] та праці [304]. Перші результати у цьому напрямі були отримані у працях [109, 110], причому у граничних випадках було одержано інтегральні рівняння задач про тріщину чи абсолютно жорстке включення в анізотропному середовищі. Тонкі абсолютно жорсткі включення в анізотропних середовищах розглядалися також у роботах [90, 111] та ін. Детальний огляд використання

розвинутого пізніше формалізму Стро подано у працях [111, 112]. Моделі податного та гнучкого прямолінійних включень в анізотропному матеріалі та розв'язки відповідних задач для безмежного середовища подано у роботі [113].

**П'єзоелектричні та магнітоелектропружні тіла з тонкими неоднорідностями.** Значний особистий внесок у створення фундаментальних загальнотеоретичних принципів та методів розв'язування конкретних задач із урахуванням взаємовпливу полів різної фізичної природи зробили Я.Й. Бурак, О.Р. Гачкевич, Б.Д. Дробенко, В.Ф. Кондрат, Л.В. Мольченко, В.З. Партон, Я.С. Підстригач, Р.Ф. Терлецький, А.Ф. Улітко, В.Ф. Чекурін та ін. [15, 23, 114–121]. І все ж при цьому здатність тонких неоднорідностей будови матеріалу чинити істотний вплив на фізико-механічні поля і розраховані експлуатаційні характеристики виробу вивчена далеко неповно. Зокрема, тріщини, чужорідні прошарки, електропровідні включення тощо створюють великі градієнти фізико-механічних полів, що може спричинити відмову чи навіть механічне руйнування конструкційного елемента.

Дослідження тонких неоднорідностей у матеріалах та конструкціях стосуються, в основному, дефектів типу щілин (тріщин). На відміну від лінійної механіки руйнування пружних тіл, задачі теорії тріщин у п'єзоелектричних та магнітоелектропружних (МЕП) матеріалах є, загалом, нелінійними [122–124], оскільки діелектрична та магнітна проникності газу (зазвичай, повітря), що заповнює просвіт щілини, не дорівнює нулю. Відтак, завжди існують додаткові, переважно нелінійні, зв'язки між розкриттям тріщини та розривами електричного і магнітного потенціалів на ній. Найпростіші залежності між останніми часто будують за аналогією із моделлю пружної основи Вінклера [122], записуючи крайові умови на берегах напівпроникної тріщини (semi-permeable crack), для якої стрибок електричного чи магнітного потенціалів на дефекті пропорційний до добутку розкриття на нормальну складову електричного зміщення чи магнітної індукції [123]. Лінеаризуючи ці рівняння, для спрощення вводять також моделі непроникної тріщини (impermeable crack), для якої електричне зміщення та магнітна індукція на поверхнях дефекту є заданими (зазвичай, нульовими, тобто, магнітний і електричний контакт поверхонь відсутній), а також проникної тріщини (permeable crack) – електричний та магнітний потенціали разом із нормальними складовими електричного зміщення та магнітної індукції є неперервними при переході через поверхню дефекту, тобто, реалізується ідеальний електричний і магнітний контакт [125, 126].

Однак, можна запропонувати й іншу лінійну модель напівпроникної тріщини. Адже реальні тріщини, як правило, мають певну все ж

ненульову товщину, що дає можливість нехтувати міжмолекулярною взаємодією її берегів. Тому тріщину можна розглядати як тонкостінну порожнину з певною товщиною (необов'язково сталою), яка заповнена певною субстанцією (наприклад, повітрям). Вважаючи, що прикладене навантаження зумовлює малі розкриття щілини порівняно з її товщиною (а саме ці припущення використовує лінійна теорія п'єзоелектриків [118]), модель напівпроникної тріщини вдається лінеаризувати. Змінюючи проникність наповнення тонкої щілини, у граничних випадках можна отримати моделі як абсолютно проникної, так і абсолютно непроникної тріщин. Вперше цю ідею було висловлено у монографії В.З. Партона та Б.А. Кудрявцева [118], де для запису умов електричного контакту берегів тріщини використано модель тонкого діелектричного шару.

Велика кількість задач щодо тріщин у п'єзоелектричних матеріалах були розв'язані за допомогою методів теорії функції комплексної змінної та інтегральних рівнянь. Прямолінійні електрично непроникні, проникні та електропровідні тріщини в п'єзоелектричних матеріалах розглянуті у роботах [122–124, 127–131] та ін. Задач електро- та магнітопружності тіл із тріщинами стосуються монографії [118, 132–134]. Міжфазні проникні та непроникні тріщини в п'єзоелектричному біматеріалі вивчені у роботах В.В. Лободи та В.Б. Говорухи [135–140]. Електропровідні та феромагнітні тіла з тріщинами за дії зовнішнього електромагнітного поля досліджені у роботах О.Є. Андрейківа, З.Т. Назарчука, В.Р. Скальського та ін. [141, 142].

Е. Pan [143] вперше розробив метод граничних елементів без підобластей (single domain boundary element method) для аналізу плоских задач механіки руйнування п'єзоелектричних тіл. R. Rajapakse та X.-L. Xu [144] запропонували МГЕ, що використовує сильно сингулярні інтегральні рівняння, в яких тріщина моделюється розподіленими уздовж лінії дислокаціями. При вивченні тріщин U. Groh та M. Kuna [145] використали методи декомпозиції області та крайові інтегральні рівняння на переміщення і електричний потенціал. F. Garcia-Sanchez та ін. [146] для аналізу задач теорії тріщин розробили змішаний граничноелементний підхід, що використовує як сингулярні, так і гіперсингулярні інтегральні рівняння. K.M. Liew, Y. Sun та S. Kitipornchai [147] запропонували безелементний підхід (boundary element free approach), який базується на гіперсингулярних інтегральних рівняннях та апроксимації рухомих найменших квадратів (moving least square approximation). N. Sheng та K.Y. Sze [148] побудували схему МГЕ типу Треффца для вивчення тріщин у плоских задачах електропружності. M. Denda у статті [124] розробив алгоритм аналізу напівпроникних тріщин у п'єзоелектрику за

допомогою методу граничних елементів. Просторові задачі теорії тріщин у п'єзоелектричних тілах вивчені у працях [149–151] та ін. Граничноелементний аналіз задач теорії тріщин у п'єзоелектричних та магнітоелектропружних тілах подано також у монографіях [152, 153].

Значно менше публікацій стосується поєднаних електричних і механічних полів у тілах із тонкими включеннями. Еліптичні включення в п'єзоелектриках вивчені у монографіях [132, 152]. Еліпсоїдні отвори, включення та плоскі просторові тріщини в п'єзоелектричних та п'єземагнітних матеріалах розглянуто у роботах Ю.М. Подільчука та його учнів [154–156]. Електропружний простір із довільно орієнтованим еліпсоїдним включенням вивчено у статті [157]. Квантові нитки в п'єзоелектричному середовищі досліджені за допомогою МГЕ у працях [158–160]. J.J. Ramsey, E. Pan та P.W. Chung [161] подали порівняння заснованих на МГЕ методів механіки континууму та підходів молекулярної статистики при моделюванні квантових ниток. Електронапружений стан тіл із тонкими жорсткими включеннями за антиплоскої деформації вивчено у працях [133, 162] із використанням методів теорії функції комплексної змінної та інтегральних рівнянь. Z.M. Xiao та ін. [163] дослідили задачу зародження мікротріщини на вістрі півбезмежного жорсткого включення у п'єзоелектричному середовищі. L. Wu та S. Du [164] вивчили задачу про тонке жорстке включення, розміщене конфокально в еліптичному електропружному включенні, вставленому в безмежне п'єзоелектричне середовище. Динамічну взаємодію SH-хвиль із тонким провідним жорстким включенням у п'єзоматеріалі розглянуто у праці [165]. У роботі [166] вивчено напружений стан п'єзоелектричного середовища з плоскою тріщиною, що розкривається жорстким включенням. С.-F. Gao, W.-X. Fan [167] розглянули задачу про жорстке діелектричне включення на межі контакту двох п'єзоелектричних півплощин. У роботі [168] розв'язано плоску задачу про взаємодію гвинтової дислокації та системи співвісних жорстких прямолінійних включень в електропружному середовищі. Z. Huang та Z.-B. Kuang [169] розглянули взаємодію дислокації та еліптичної неоднорідності в п'єзоелектрику.

Дослідження тонких пружних і п'єзоелектричних включень за антиплоскої деформації середовища започатковано у роботах Я.І. Кунця, Р.В. Рабоша та Г.Т. Сулима [170–172].

Задачі МЕР для тіл із непроникними та проникними тріщинами розглянуто у монографіях С.О. Калосрова та ін., Б.А. Кудрявцева та В.З. Партон, Д.І. Бардзокаса, М.Л. Фільштинського та Л.А. Фільштинського, Q.H. Qin [19, 118, 132, 133, 152] та ін. Дослідження тонких дефектів, зокрема й тріщин, в МЕР матеріалах стосуються також



роботи В.В. Лободи, Y.H. Chen, N. Hasebe, E. Pan, J. Sladek, V. Sladek, W.Y. Tian, M. Wünsche, Ch. Zhang та ін. [130–181]. У працях [182–185] на основі методу граничних елементів розроблено низку числових підходів для визначення параметрів, що характеризують руйнування магнітоелектричних композитів із тріщинами. В основному, вони стосуються дослідження тіл із непроникними тріщинами. Тому доцільною видається уніфікація в межах лінійної задачі опису всіх трьох моделей проникних, непроникних і напівпроникних тріщин на основі моделі тонкого включення, адже непроникними для електричного чи магнітного полів є середовища, для яких діелектрична чи магнітна проникності є близькими до нуля. Натомість для проникних середовищ відповідні величини прямують до безмежності. Проміжними значеннями діелектричної та магнітної проникностей, очевидно, можна моделювати усі чи майже усі напівпроникні середовища.

Дослідження включень у магнітоелектричному композиті стосуються лише поодинокі роботи. Еліптичні п'єзомагнітні включення розглянуто у монографії [152]. У роботі [186] досліджено включення Ешелбі у п'єзомагнітному матеріалі. У праці [187] вивчено взаємодію електромагнітних та механічних полів у середовищі, що містить сферодне включення. Можна також згадати про застосування розвинутих у роботі [188] експериментальних методів при дослідженні магнітних та електричних полів у матеріалах із нанонеоднорідностями.

**Термопружність анізотропних та піроелектричних тіл.** Дослідження концентрації та інтенсивності полів напружень, а також електричних зміщень поблизу включень, отворів та тріщин в анізотропних термопружних і термоелектропружних матеріалах добре відображені у науковій літературі, зокрема, й з огляду на те, що явище піроефекту, тобто виникнення електричного поля у матеріалі при його нагріванні, має широке використання, наприклад, у сенсорах інфрачервоного випромінювання [189]. Також ці ефекти активно використовують при створенні сучасних смарт-матеріалів. Наявність у таких матеріалах структурних неоднорідностей зумовлює високу концентрацію напружень, температурних і електричних полів поблизу них. При цьому теплове розширення та/чи піроефект відіграють істотну роль.

У працях Г.С. Кіта з учнями [190–194] вивчено задачі плоскої та просторової термопружності ізотропних тіл із тріщинами та включеннями. Тонкі прямолінійні включення в кусково-однорідних ізотропних термопружних тілах розглянуто у роботах Г.Т. Сулима та Й.З. Піскозуба [36, 195, 196]. У статті [197] досліджено періодичні системи еліптичних включень в анізотропному термопружному тілі. У

монографії В.Г. Карнаухова та В.В. Михайленка [198] розглянуто задачі нелінійної термомеханіки в'язкопружних п'єзоелектриків. У праці [199] досліджено вібророзігрівання в'язкопружних пластинок із п'єзощарами. У роботі [200] побудовано розв'язок для еліптичного отвору в п'єзоелектрику за дії однорідного теплового потоку. У праці [201] досліджено вплив однорідного теплового потоку на концентрацію напружень та електричних зміщень у пластині з еліптичним включенням та отвором. У статті В.С. Кирилюка [202] вивчено тривимірний термоелектропружний стан тіла з плоскою тріщиною за дії симетричного теплового потоку з її поверхонь. У роботах [203, 204] визначено коефіцієнти інтенсивності напружень поблизу періодичної системи тріщин у термоелектропружному та термомагнітоелектропружному матеріалах. У статтях С.О. Калоєрова та К.Г. Хорошева [205, 206] отримано комплексні потенціали термоелектропружності типу Лехніцького та на основі методу рядів побудовано числові розв'язки низки задач для багатозв'язних пластинок із отворами та тріщинами. У подальших роботах С.О. Калоєров та його учні [207, 208] поширили ці результати на випадок термомагнітоелектропружних тіл. У працях [209, 210] отримано функції Гріна для піроелектриків та термомагнітоелектропружних матеріалів з отворами різної форми і прямолінійними тріщинами. У публікації [211] побудовано фундаментальні розв'язки для ортотропної піроелектричної площини та півплощини. Майже у всіх працях (окрім робіт за авторства С.О. Калоєрова), що досліджують термоелектропружність безмежних тіл, використовується припущення, що однорідний тепловий потік не зумовлює напружень та електричних зміщень у суцільному бездефектному піроелектричному тілі, хоча належного обґрунтування такого твердження у роботах за оглянутий період не було подано.

Перелічені роботи, в основному, використовують суто аналітичні чи аналітично-числові методи дослідження неоднорідних піроелектричних тіл, реалізація яких можлива лише при накладанні істотних обмежень на геометричні форми останніх. Позбутися цих обмежень дає можливість використання числових методів, зокрема, методу граничних елементів, який унаслідок своєї напіваналітичної природи поєднує високу точність з вимогою дискретизації лише межі області.

При вивченні впливу теплового розширення на напружений стан тіл за допомогою методів інтегральних рівнянь (чи граничних елементів), у числовій схемі слід обчислювати додатковий об'ємний інтеграл (у двовимірних задачах поверхневий), що часто нівелює усі переваги методу. У випадку ізотропного тіла цей об'ємний інтеграл можна доволі легко перетворити до граничного (по поверхні, яка охоплює цей об'єм).

Такий спосіб використано у роботах [212–215] при дослідженні термопружної рівноваги ізотропних тіл із тріщинами. Однак, у випадку анізотропних тіл зведення об'ємного інтегралу до поверхневого стає досить складним і технічно громіздким завданням. У роботі [216] для випадку неоднорідних ортотропних площин, півплощин та смуг задача термопружності зведена до інтегрального рівняння Вольтерра. Для розв'язування задачі у випадку області довільної геометрії було запропоновано низку підходів. Скажімо, у роботах [217, 218] розроблено частковий інтегральний підхід (particular integral approach), що передбачає розбиття зайнятої тілом області на комірки, у кожній з яких температура апроксимується поліномом. У працях [219, 220] запропоновано алгоритм перетворення об'ємного інтегралу до контурного. Цей підхід успішно використано при аналізі термонапруженого стану анізотропних тіл із тріщинами у роботі [221]. Однак, деякі з контурних інтегралів слід обчислювати у певним чином відображеній області, що ускладнює алгоритм МГЕ. W.T. Ang та D.L. Clements [222] розробили непрямий метод інтегральних рівнянь, що дає можливість досліджувати прямолінійні тріщини в анізотропному термопружному тілі, проте у кожному конкретному випадку обчислювальну схему слід підлаштовувати під геометрію задачі. Основні дослідження у напрямі вивчення термоелектропружних тіл здійснив Q.H. Qin [152, 223–225], який шляхом мінімізації певних потенціальних функцій отримав розрахункові схеми МГЕ для піроелектриків із теплоізолюваними непроникними тріщинами. J. Sladek та ін. [226] розробили схему безсіткового методу Петрова – Гальоркіна для аналізу задач термоелектромагнітопружності тіл із тріщинами.

Проте при застосуванні МГЕ до аналізу анізотропних термопружних і піроелектричних тіл до останнього часу не було розв'язано низки важливих проблемних питань. Зокрема, не було побудовано інтегральних рівнянь чи навіть обчислювальних схем методу граничних елементів, що дали би можливість досліджувати не тільки теплоізолювані тріщини, але й тріщини із заданою температурою їхніх берегів. Також при аналізі п'єзоелектричних тіл із тріщинами у більшості випадків слід зважати на електричну проникність середовища, що заповнює просвіт, оскільки для проникних і непроникних тріщин коефіцієнти інтенсивності напружень є різними [203]. Тобто, слід було будувати та використовувати певні моделі тонких включень.

Математичне формулювання задач термопружності аналогічне до відповідного для задач вологопружності [227]. У зв'язку із дослідженням процесів сушіння виробів та заготовок, а також роботи елементів конструкцій за сумісної дії теплових факторів та вологості

навколишнього середовища, актуальним є вивчення задач термовологопружності [227–229]. Метод граничних елементів при аналізі вологоперенесення застосовано у роботі [230].

**Періодичні задачі.** Періодичні системи тріщин в ізотропному матеріалі розглянуто у значній кількості статей, основні результати яких відображено у монографіях [36, 84, 231]. Істотно менше робіт стосується періодичних систем тріщин в анізотропному середовищі. Серед них можна відзначити праці [232–234].

Періодичні системи тонких жорстких включень розглянуті у роботах [45, 235]. Системи тонких пружних включень в ізотропному середовищі вивчено у працях [36, 236–238]. Періодичні задачі для глобулярних криволінійних включень в анізотропному тілі досліджені у монографії [239]. Тривимірна задача для періодичної системи включень розглянута за допомогою методу граничних елементів у праці [240].

**Подвійно періодичні системи тонких неоднорідностей. Ефективні характеристики композитів.** При дослідженні взаємодії тонких дефектів, як правило, зосереджуються на вивченні регулярно розташованих неоднорідностей, адже, як зазначено у роботах [241–244], такими можна вважати системи тріщин, що часто наявні у шаруватих кристалах, гірських породах та композитних матеріалах. Подвійно періодичні системи тріщин в ізотропному матеріалі розглянуто у монографіях М.П. Саврука, О.М. Лінькова, Г.Т. Сулима [36, 84, 231] та великій кількості статей, зокрема, [241–244]. Значно менше робіт стосується подвійно періодичних систем тріщин в анізотропному середовищі. Серед них можна відзначити праці [232–234, 245, 246].

Важливість дослідження подвійно та потрійно періодичних задач зумовлена також можливістю за допомогою їхнього розв'язку вирішити проблему визначення та оптимізації ефективних механічних властивостей композитного матеріалу з регулярною структурою [36, 231, 244]. При побудові відповідних моделей армованого волокнами чи платівками композиту зміцнювальні елементи найчастіше описують тонкими абсолютно жорсткими включеннями [45, 244, 247]. У монографії [36] та статті [248] для задач антиплоскої деформації ці результати узагальнено на випадок систем тонких пружних включень. У книзі [239] методами рядів із поліномами Фабера розглянуто подвійно періодичні задачі для анізотропних пластинок із криволінійними глобулярними включеннями. У роботі [249] досліджено ефективні властивості композиту з анізотропною матрицею, що армована системою тонких гнучких включень. У праці [250] запропоновано узагальнену схему методу Морі – Танаки для вивчення ефективних характеристик магнітоелектропружних композитів із глобулярними вкладеними одне в одного включеннями.

При дослідженні ефективних характеристик середовищ із регулярними системами неоднорідностей за допомогою методів інтегральних рівнянь (чи граничних елементів) склалися три основні підходи. Перший, використаний Y. Liu [251], X. Zhu зі співавторами [185] та ін., розглядає середовище з багатьма включеннями (волоконми) без огляду на періодичну структуру. Мабуть вперше при вивченні динамічних пружних властивостей середовища із тонкими жорсткими включеннями такий підхід застосовано В.В. Михаськівим зі співавторами [252]. Численні дослідження, що стосуються моделювання та прогнозування ефективних характеристик п'єзоелектричних та п'єземагнітних композитів здійснено Л.П. Хорошуном, М.О. Шульгою, Б.П. Масловим та їхніми учнями [253–259].

У другому підході розглядається лише один представницький елемент об'єму (representative volume element) композитного матеріалу з регулярною будовою. Зокрема, такий спосіб вивчення ефективних сталих композиту впроваджено в МГЕ у працях Y.J. Liu та X.L. Chen [260], C.Y. Dong та K.Y. Lee [244], C.Y. Dong [261] та ін.

Третій підхід використовує спеціальні крайові інтегральні рівняння подвійно періодичних задач. Застосовуючи цей підхід А.М. Лін'ков та V.F. Koshelev [262] і О.М. Лін'ков [231] розробили комплексний МГЕ для вивчення подвійно періодичних систем тріщин, отворів та глобулярних включень в ізотропному пружному середовищі. Унаслідок своєї напіваналітичної природи цей підхід дає можливість не тільки обчислювати коефіцієнти інтенсивності напружень регулярних систем тріщин чи концентрацію напружень на отворах і включеннях, а також визначати ефективні характеристики композитних матеріалів без додаткового розгляду межі представницького елемента об'єму та відповідних періодичних крайових умов на ній. Тому за числового моделювання розглядається лише поверхня тріщини чи отвору, що істотно зменшує розмір результуючої системи лінійних алгебричних рівнянь.

Останній підхід широко використовується для високоточного кількісного аналізу подвійно періодичних систем тріщин та тонких включень. Зокрема, G.S. Wang [243] запропонував ефективний алгоритм вивчення взаємодії подвійно періодичних систем та підсистем тріщин в ізотропному пружному середовищі. J. Xiao та C. Jiang [246] вивчили антиплоску деформацію ортотропного середовища з подвійно періодичними системами тріщин різного розміру. Y.Z. Chen, N. Hasebe та K.Y. Lee [263] дослідили задачі взаємодії систем тріщин, зокрема, й періодичних, у пружних середовищах. J.H. Xiao, Y.L. Xu та C.P. Jiang [264] отримали замкнуті розв'язки для коефіцієнтів інтенсивності

напружень та електричної індукції, а також ефективні характеристики п'єзоелектричних матеріалів із подвійно періодичними системами електропровідних жорстких лінійних включень, що перебувають в умовах антиплоскої деформації. Р. Malits [247] вивчив взаємодію подвійно періодичних систем жорстких лінійних включень в ізотропному середовищі.

З огляду на розвиток нанотехнологій у виготовленні магнітоелектричних композитів дослідження п'єзоелектричних та магнітоелектропружних матеріалів із подвійно періодичними системами тонких включень чи тріщин є надзвичайно затребуваним, проте й значно складнішим завданням.

**Поєднані, гіллясті та ламані включення.** Аналіз пружних ламаних чи перехрещених включень, в основному, стосується задач антиплоскої деформації. Зокрема у роботах [265, 266] розглянуто системи довільно орієнтованих злучених стрічкових пружних включень. У працях [267–269] здійснено аналіз антиплоскої деформації середовища, що містить систему зв'язаних тонких жорстких включень, зокрема, у формі фасонних профілів кутника, тавра, двотавра тощо.

У межах плоскої задачі теорії пружності розроблено методи опису тріщин ламаного профілю [81, 82, 84], а також перехрещених абсолютно жорстких включень [270, 271]. Гнучке пружне хрестоподібне включення розглянуто у роботі [272]. Питання ж аналізу гіллястих (розгалужених) тонких включень довільної жорсткості та геометрії до 2010 року залишалося цілком не дослідженим.

**Відшаровані включення та накладки.** Частково відшаровані глобулярні еліптичні включення розглянуто у роботі [273]. Відшарування коротких волокон у композиті вивчено у праці [274]. Тривимірне поле напружень поблизу частково відшарованого жорсткого циліндричного волокна досліджено у статті [275]. Стосовно тонких включень, то в основному, досліджувалися тільки тонкі абсолютно жорсткі включення, однобічно відшаровані уздовж всієї довжини повністю чи за гладкого контакту з оточуючим матеріалом [40, 69, 276], а також з урахуванням тертя [69, 277, 278]. Взаємодію міжфазної тріщини та жорсткого однобічно відшарованого включення вивчено у роботі [279]. У працях В.Г. Попова та О.П. Мойсеєнка [68, 280] досліджено нестационарну задачу для тонкого жорсткого відшарованого включення за умов плоскої та антиплоскої деформації. Розгляду пружних включень стосуються лише поодинокі роботи, наприклад, тонке однобічно повністю відшароване гнучке включення розглядається у праці [281]. Тонкі відшаровані включення в п'єзоелектричному матеріалі залишилися практично поза увагою дослідників.

Дослідження задач для підкріплених розвантажувальних отворів пластинчатих елементів конструкцій стосуються численні праці А.О. Сяського з учнями, зокрема й [282–284], що розвивають результати ґрунтовних досліджень з цієї тематики, здійснювані ще у 1950–70-х рр. Г.М. Савіним, М.П. Шереметьєвим, Н.П. Флейшманом, В.В. Божидарніком та іншими вченими [285–290]. У монографії [239] методами рядів розраховано концентрацію напружень в анізотропних пластинках із подвійно періодичними системами пружних кілець. У роботі [291] побудовано алгоритм визначення термонапруженого стану анізотропних пластинок із пружними кільцями. У праці [292] розглянуто розсіювання електромагнітних хвиль тонким діелектричним покривом на циліндрі. У роботі I. Benedetti та ін. [293] побудовано швидкий МГЕ для аналізу пошкоджених конструкцій із наклеєними тонкими п'єзоелектричними сенсорами, що моделюються методом скінченних елементів.

**Руйнування тіл із тонкими включеннями.** Однією з основних проблем у дослідженні граничної рівноваги тіл із тонкими неоднорідностями є три можливі сценарії руйнування, пов'язані з місцем його зародження [36]: 1) у тілі поблизу вершини дефекту; 2) на спільній межі з основним матеріалом; 3) усередині включення. Не виключено, що процес руйнування може виникати також і на невеликій відстані від включення, або охоплювати реалізацію одночасно декількох сценаріїв.

У літературі найбільше уваги приділено вивченню руйнування, що зароджується в тілі поблизу вершини дефекту. Тут слід відзначити роботи Л.Т. Бережницького, Р.С. Гром'яка, В.В. Панасюка та І.І. Труша [294, 295], в яких руйнування поблизу жорстких гострокінцевих включень пов'язане з радіальною складовою тензора напружень в околі вістря дефекту; Е.Е. Gdoutos [74, 296], де започатковано і розвинуто ідею застосування при вивченні граничного стану тіл із жорсткими тонкими чи гострокінцевими включеннями критерію стаціонарності густини енергії деформації G.C. Sih [297]; С.Ю. Попіни та Г.Т. Сулима [298], в якій у критеріальному співвідношенні для тонких пружних включень враховано як кільцеву, так і радіальну складові тензора напружень; М.М. Кундрата [299], де комплексно розглядаються механізми руйнування, спричинені відшаруванням та розривом включення тощо. Експериментального дослідження тонких жорстких включень, а також теоретичного вивчення включень у попередньо напружених матеріалах стосуються праці F. Dal Corso, D. Bigoni, M. Gei [300, 301], де руйнування пов'язано з радіальною складовою тензора напружень. У роботах М.М. Стадника та О.Є. Андрейківа [302] і В.П. Силованюка та Р.Я. Юхима [95, 303] опрацьовано теорію руйнування тонких податних включень на основі

вінклерової моделі. Достатньо повний огляд досліджень, що стосуються руйнування тіл із тонкими чи гострокінцевими жорсткими і пружними вклученнями, можна знайти у монографії [36] та працях [298, 299].

**Висновок.** Дослідження проблематики взаємодії фізико-механічних полів у анізотропних структурно-неоднорідних тілах має широкі можливості для практичного застосування у конструюванні інноваційних продуктів і технології їхнього виготовлення, а також великі перспективи отримання важливих теоретичних результатів у механіці деформівного твердого тіла.

Певним важливим кроком в опрацюванні цієї тематики і вирішення багатьох проблем, зокрема, побудови математичної теорії третинного піроелектричного ефекту, загальних принципів побудови фундаментальних розв'язків та суто крайових інтегральних рівнянь термомагнітоелектропружності, методів отримання моделей та аналізу тіл із тонкими накладками та неоднорідностями довільної гладкої чи ламаної (у т.ч. гіллястої) форми, визначення ефективних фізико-механічних характеристик магнітоелектричних композитів тощо, які не вдавалося вирішити до 2010 року є граничноелементний метод функцій стрибка, опрацьований у публікаціях [305–323]. Аналіз результатів, отриманих за допомогою цього методу вимагає окремого викладу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Woo H.-G., Li H.* Advanced functional materials. – London: Springer, 2011. – 350 p.
2. *Moskowitz S.L.* The advanced materials revolution: technology and economic growth in the age of globalization. – Wiley, 2009. – 280 p.
3. *Ванин Г.А.* Механика ленточных композиционных материалов // Прикл. механика. – 1985. – 21. – № 4. – С. 24–32.
4. *Goldwasser D.J., Otocka E.P., Kear B.H.* The mechanical behavior of polysulfone matrix composites reinforced with amorphous metal ribbon // Mater. Sci. and Eng. – 1978. – 34, No. 2. – P. 139–146.
5. *Pollock J.T., Arthur J.* Tensile strength of ribbon reinforced composites // Mater. Sci. and Eng. – 1975. – 2. – No. 18. – P. 209–212.
6. *Rexer J., Anderson E.* Composites with planar reinforcements (flakes, ribbons). A review // Polym. Eng. and Sci. – 1979. – 19, No. 1. – P. 1–11.
7. *Bower C., Rosen R., Jin L., Han J., Zhou O.* Deformation of carbon nanotubes in nanotube-polymer composites // Applied Physics Letters. – 1999. – 74. – P. 3317–3319.
8. *Qian D., Dickey E.C., Andrews R., Rantell T.* Load transfer and deformation mechanisms in carbon nanotube-polystyrene composites // Applied Physics Letters. – 2000. – 76. – P. 2868–2870.
9. *Schadler L.S., Giannaris S.C., Ajayan P.M.* Load transfer in carbon nanotube epoxy composites // Applied Physics Letters. – 1998. – 73. – P. 3842–3844.
10. *Wagner H.D., Lourie O., Feldman Y., Tenne R.* Stress-induced fragmentation of multiwall carbon nanotubes in a polymer matrix // Applied Physics Letters. – 1998. – 72. – P. 188–190.
11. *Chen X.L., Liu Y.J.* Square representative volume elements for evaluating the effective material properties of carbon nanotube-based composites // Computational Materials Science. – 2004. – 29, No. 1. – P. 1–11.



12. *Liu Y.J., Chen X.L.* Evaluations of the effective materials properties of carbon nanotube-based composites using a nanoscale representative volume element // *Mechanics of Materials*. – 2003. – 35. – P. 69–81.
13. *Бардзокас Д.И., Зобнин А.И., Сеник Н.А., Фильштинский М.Л.* Статические и динамические задачи электроупругости для составных многосвязных тел. – М.: КомКнига, 2005. – 312 с.
14. *Сыркин Л.Н.* Пьезомагнитная керамика. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 208 с.
15. *Улітко А.Ф., Мольченко Л.В., Ковальчук В.Ф.* Магнітопружність при динамічному навантаженні. – К.: Либідь, 1994. – 155 с.
16. *Encyclopedia of smart materials / ed. by M. Schwartz*. – New York: Wiley, 2002. – 1073 p.
17. *Lin Y., Sodano H.A.* Fabrication and electromechanical characterization of a piezoelectric structural fiber for multifunctional composites // *Advanced Functional Materials*. – 2009. – 19. – P. 592–598.
18. *Lin Y., Sodano H.A.* A double inclusion model for multiphase piezoelectric composites // *Smart Materials and Structures*. – 2010. – 19, No. 3.
19. *Калюеров С.А., Петренко А.В.* Двумерные задачи электромагнитоупругости для многосвязных тел. – Донецк: Юго-Восток, 2011. – 232 с.
20. *Eerenstein W., Mathur N.D., Scott J.F.* Multiferroic and magnetoelectric materials // *Nature*. – 2006. – 442. – P. 759–765.
21. *Glinchuk M.D., Eliseev E.A., Morozovska A.N., Blinc R.* Giant magnetoelectric effect induced by intrinsic surface stress in ferroic nanorods // *Phys. Rev. B*. – 2008. – 77, No. 2. – P. 024106-11.
22. *Vaz C.A.F., Hoffman J., Ahn C.H., Ramesh R.* Magnetoelectric Coupling Effects in Multiferroic Complex Oxide Composite Structures // *Adv. Mater.* – 2010. – 22. – P. 2900–2918.
23. *Бурак Я., Кондрат В., Грицина О.* Основи локально градієнтної теорії діелектриків. – Ужгород: Поліграфцентр «Ліра», 2011. – 208 с.
24. *Кондрат В., Грицина О.* Лінійні теорії електромагнітомеханіки діелектриків // *Фіз.-мат. моделювання та інформаційні технології*. – 2009. – Вип. 9. – С. 7–46.
25. *Murakami Y.* Metal fatigue: effects of small defects and nonmetallic inclusions. – Elsevier, 2002. – 369 p.
26. *Ясній П.В.* Пластично деформовані матеріали: втома і тріщиногнотривкість. – Львів: Світ, 1998. – 292 с.
27. *Маруха В.І., Панасюк В.В., Силованюк В.П.* Ін'єкційні технології відновлення роботоздатності пошкоджених споруд тривалої експлуатації. – Львів: СПОЛОМ, 2009. – 262 с.
28. *Маруха В.І., Середницький Я.А., Гнип І.П., Силованюк В.П.* Розробка ін'єкційних технологій та створення комплексу пересувного устаткування для діагностики та відновлення працездатності бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд, що експлуатуються в умовах корозійно-механічного руйнування // *Наука та інновації*. – 2007. – Т. 3, № 5. – С. 26–33.
29. *Панасюк В.В., Силованюк В.П., Маруха В.І.* Міцність пошкоджених тріщинами елементів конструкцій, залікованих за ін'єкційними технологіями // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2005. – № 6. – С. 60–64.
30. *Силованюк В.П., Маруха В.І., Онищак Н.В.* Залишкова міцність циліндричних елементів з тріщинами, залікованими за ін'єкційною технологією // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2007. – № 1. – С. 99–104.
31. *Panasjuk V., Sylovanyuk V., Marukha V.* Static and cyclic strength of a cracked body which strengthened by injection technologies // *Acta mechanica et automatica*. – 2007. – Vol. 1, No. 1 – P. 85–88.
32. *Грицький Д.В., Сулим Г.Т.* Розвиток теорії тонкостінних включень у Львівському державному університеті // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. мех.-мат.* – Львів: Вища школа. Вид-во при Львів. ун-ті, 1987. – Вип. 27. – С. 3–9.
33. *Сулим Г.Т., Піскозуб Й.З.* Умови контактної взаємодії тіл (огляд) // *Мат. методи і фіз.-мех. поля*. – 2004. – 47, № 3. – С. 110–125.
34. *Попов Г.Я.* Вклад одесских исследователей в развитие методов решения смешанных задач механики деформируемого тела // *Тез. докл. IV Всесоюз. конф. «Смешанные задачи механики деформируемого тела»* (Одесса, 26–29 сент. 1989 г.) – Одесса, 1989. – Т. 2. – С. 59–60.

35. *Mura T.* Inclusion problem // *Appl. Mech. Rev.* – 1988. – 41. – P. 15–20.
36. *Сулим Г.Т.* Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. – Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ, 2007. – 716 с.
37. *Підстригач Я.С.* Умови теплового контакту твердих тіл // *Доп. АН УРСР. Сер. А.* – 1963. – № 7. – С. 872–874.
38. *Александров В.М., Мхитарян С.М.* Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. – М.: Наука, 1983. – 487 с.
39. *Александров В.М., Пожарский Д.А.* Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. – М.: Факториал, 1998. – 223 с.
40. *Александров В.М., Сметанин Б.И., Соболев Б.В.* Тонкие концентраторы напряжений в упругих телах. – М.: Физматлит, 1993. – 224 с.
41. *Арутюнян Н.Х.* Поведение решений задач теории упругости в неограниченных областях с параболоидальными и цилиндрическими включениями или полостями // *Успехи мат. наук.* – 1987. – Т. 10. – № 4. – С. 3–91.
42. *Божидарнік В.В., Андрейків О.Є., Сулим Г.Т.* Механіка руйнування, міцність і довговічність неперервно армованих композитів. Монографія. У 2-х т. – Луцьк: Надстир'я, 2007.
43. *Винницька Л.І., Григоренко Я.М., Савула Я.Г.* Гетерогенна математична модель пружного тіла з тонким податливим на згин включенням // *Доп. НАН України.* – 2009. – № 9. – С. 62–66.
44. *Вишневский К.В., Кушир Р.М.* Граничные интегральные уравнения для тела с инородными включениями // *Мат. методы и физ.-мех. поля.* – 1996. – 39. – № 1. – С. 37–41.
45. *Бережницкий Л.Т., Панасюк В.В., Сташук Н.Г.* Взаимодействие жестких линейных включений и трещин в деформируемом теле. – К.: Наук. думка, 1983. – 288 с.
46. *Григоренко О., Савула Н.* Полівимірна крайова задача гетерогенної математичної моделі контактної взаємодії пружного тіла з тонким включенням // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем.* та інформ. – 2006. – Вип. 11. – С. 120–126
47. *Гузь А.Н.* Механика хрупкого разрушения материалов с начальными напряжениями. – К.: Наук. думка, 1983. – 296 с.
48. *Денисюк И.Т.* Одна модель тонких упругих включений в изотропной пластинке // *Изв. Рос. АН. Механика твердого тела.* – 2000. – № 4. – С. 140–148.
49. *Мартиняк Р.М.* Механоцифозійна взаємодія тіл з урахуванням заповнювача міжконтактних зазорів // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2000. – 36. – № 2. – С. 124–126.
50. *Матисяк С.Й., Свтушенко О.О., Зеленьк В.М.* Нагрівання півпростору з включенням і тріщиною // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2004. – 40. – № 4. – С. 34–40.
51. *Калюков С.А., Авдюшина Е.В., Качан Ю.Б.* Напряженное состояние кусочно-однородного анизотропного полупространства с трещинами, упругими и жесткими включениями // *Теоретическая и прикладная механика.* – Донецк, 2002. – Вып. 35. – С. 53–65.
52. *Гудрамович В.С.* Теория ползучести и ее приложения к расчету элементов тонкостенных конструкций. – К.: Наук. думка, 2005. – 223 с.
53. *Кит Г.С., Емец В.Ф., Кунец Я.И.* Асимптотическое поведение решения задачи рассеяния упругой волны тонкостенным инородным включением // *Известия РАН. Механика твердого тела.* – 1999. – № 3. – С. 55–64.
54. *Кит Г.С., Кунец Я.И., Михаськів В.В.* Взаимодействие стационарной волны с тонким дискообразным включением малой жесткости в упругом теле // *Известия РАН. Механика твердого тела.* – 2004. – № 5. – С. 82–89.
55. *Кунец Я.І.* Пружна рівновага тіла з тонким гострокінцевим м'яким включенням в умовах поздовжнього зсуву // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* – 2004. – 47. – № 3. – С. 144–148.
56. *Лобода В.В.* Применение метода осреднения к расчету плиты, подкрепленной стрингерами // *Прикл. мат. и механика.* – 1981. – 45, № 5. – С. 867–875.
57. *Мелешко В.В.* Генерация акустических волн в полупространстве прямоугольным излучателем конечных размеров // *Акуст. вісн.* – 1999. – 2. – № 1. – С. 42–49.
58. *Михаськів В.В., Хай О.М.* Симетрична задача усталеної взаємодії тріщин і тонких жорстких включень у тривимірній матриці // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2003. – 39, № 2. – 11 с.

59. *Мовчан А.Б., Морозов Н.Ф., Назаров С.А.* О разрушении вблизи пикообразных включений при посадке с натягом // Пластичность и разрушение тверд. тел. – М., 1988. – С. 137–145.
60. *Кушнір Р.М., Николишин М.М., Осадчук В.А.* Пружний т. пружно-пластичний граничний стан оболонок з дефектами. – Львів: Сполом, 2003. – 320 с.
61. *Назаренко Л.Д., Острик В.И.* Изгиб прямоугольной пластинки с тонким криволинейным включением // Динамика и прочность машин. – Харьков, 1988. – Вып. 44. – С. 19–24.
62. *Кухарський В., Кухарська Н., Савула Я., Мандзак Т.* Фізико-математичне моделювання процесів тепломасоперенесення в середовищах із включеними тонкими шарами // Вісн. Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2006 – 11, № 3. – С. 145–152.
63. *Саркисян В.С.* Контактные задачи для полуплоскостей с упругими накладками. – Ереван: Изд-во Ереван. ун-та, 1983. – 260 с.
64. *Мовчан А.Б., Назаров С.А.* Асимптотическое поведение напряженно-деформированного состояния вблизи острых включений // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 290, № 1. – С. 48–51.
65. *Опанасович В.К., Драган М.С.* Антиплоска деформація тіла з системою тонких пружних включень // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. мех.-мат. – 1984. – Вып. 22. – С. 71–77.
66. *Панасюк В.В., Андрейків О.С.* Пружна рівновага необмеженого тіла з тонким включенням // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1976. – № 7. – С. 636–639.
67. *Поддубняк А.П., Кунец Я.И.* Осесимметричное кручение упругого полупространства с упругой шайбой // Прикл. механика. – 1983. – 19, № 7. – С. 66–70.
68. *Попов В.Г., Мойсеев А.П.* Концентрация напряжений вблизи отслоившегося тонкого упругого включения при воздействии нестационарной волны продольного сдвига // Теорет. и прикладная механика. – 2005. – Вып. 41. – С. 184–192.
69. *Попов Г.Я.* Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений. – М.: Наука, 1982. – 344 с.
70. *Сяський А.А., Сяський В.А.* Напряженное состояние кусочно-однородной пластинки с упругим включением // Прикл. механика. – 1983. – 19, № 5. – С. 94–99.
71. *Фильтишинский Л.А.* Дифракция упругих волн на трещинах, отверстиях, включениях в изотропной среде // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1991. – № 4. – С. 119–127.
72. *Черепанов Г.П.* Механика разрушения композиционных материалов. – М.: Наука, 1983. – 296 с.
73. *Чобанян К.С., Хачикян А.С.* Плоское деформированное состояние упругого тела с тонкостенным гибким включением // Изв. АН АрмССР. Механика. – 1967. – Т. 20, № 6. – С. 19–29.
74. *Gdoutos E.E.* Failure of a composite with a rigid fiber inclusion // Acta mech. – 1981. – 39, No. 3–4. – P. 251–262.
75. *Sih G.C.* Plane extension of rigidly embedded line inclusions // Developments in mechanics, vol.3, Pt.1. Solid Mech. and Mater. New York-Wiley, 1965. – P. 61–79.
76. *Belytschko T., Xiao S.P.* Coupling methods for continuum model with molecular model // Int. J. for Multiscale Computational Engineering. – 2003. – 1(1). – P. 115–126.
77. *Badia S., Parks M., Bochev P., Gunzburger M., Lehoucq R.* On atomistic-to-continuum coupling by blending // Multiscale Model. Simul. – 2008. – 7, No. 1. – P. 381–406.
78. *Андрейків А.Е.* Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии. – К.: Наук. думка, 1992. – 184 с.
79. *Назарчук З.Т., Стадник Т.М.* Дифракційна взаємодія тріщиноподібних дефектів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – 44, № 4. – С. 47–51.
80. *Осадчук В., Кушнір Р., Николишин М.* Залишкові напруження в циліндричній оболонці з тріщиною // Машинознавство. – 1998. – № 4/5. – С. 40–43.
81. *Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацьшин А.П.* Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. – К.: Наук. думка, 1976. – 444 с.
82. *Саврук М.П.* Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пособие: В 4 т. / Под общ. ред. Панасюка В.В. / Т. 2. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. – К.: Наук. думка, 1988. – 620 с.

83. *Саврук М.П., Зеленьк В.М.* Двовимірні задачі термопружності для кусково-однорідних тіл з тріщинами. – Львів: РАСТР, 2009. – 212 с.
84. *Саврук М.П.* Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. – К.: Наук. думка, 1981. – 324 с.
85. *Черепанов Г.П.* Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
86. *Опанасович В.К., Драган М.С., Тисовский Л.О.* Напряжения в плоскости, содержащей систему прямолинейных включений // Физ.-хим. механика материалов. – 1985. – 21, № 6. – С. 21–26.
87. *Сулим Г.Т.* Концентрация напряжений возле тонкостенных линейных включений // Прикл. механика. – 1981. – 17, № 11. – С. 82–89.
88. *Бережницкий Л.Т., Денисюк И.Т.* Напряженно-деформированное состояние вблизи жесткого дискообразного включения в трансропном теле // Физ.-хим. механика материалов. – 1984. – 1. – С. 45–50.
89. *Бережницкий Л.Т., Денисюк И.Т.* О распределении напряжений и смещений вблизи жесткого дискообразного включения // Физ.-хим. механика материалов. – 1984. – 6. – С. 105–106.
90. *Денисюк И.Т.* Пружна рівновага тіла з негладким включенням. – Луцьк: Ред.-видавничий відділ ЛДУУ, 2004. – 220 с.
91. *Selvadurai A.P.S.* An inclusion at a bi-material elastic interface // Journal of Engineering Mathematics. – 2000. – 37, No. 1–3. – P. 155–170.
92. *Selvadurai A.P.S.* Mechanics of a rigid circular disc bonded to a cracked elastic half-space // Int. J. of Solids and Structures. – 2002. – 39. – P. 6035–6053.
93. *Kanaun S.K., Levin V.M.* Self-Consistent Methods for Composites. Vol.1: Static Problems. – Springer, 2008. – 376 p.
94. *Панасюк В.В., Стадник М.М., Силованюк В.П.* Концентрация напряжений в трехмерных телах с тонкими включениями. – К.: Наук. думка, 1986. – 216 с.
95. *Силованюк В.П.* Руйнування попередньо напружених і трансверсально-ізотропних тіл із дефектами. – Львів: НАНУ Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка, 2000. – 300 с.
96. *Бернар И.И., Опанасович В.К.* Напряженное состояние пластины с тонкостенным включением по дуге окружности // Прикладная математика и механика. – 1983. – 47. – № 2. – С. 249–256.
97. *Френчко Ю.С., Ткач М.Д.* Антиплоская деформация тела с тонким дугообразным включением // Физ.-мех. поля в деформируемых средах. К.: Наук. думка, 1978. – С. 81–84.
98. *Сулим Г., Пастернак Я.* Регуляризована тотожність Сомільяни для задач теорії пружності з тонкостінними структурами // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Прикладна математика та інформатика. – Вип. 13. – 2007. – С. 142–150.
99. *Сулим Г.Т., Пастернак Я.М.* Застосування методу граничних елементів до аналізу антиплоскої деформації анізотропних тіл із тонкостінними структурами // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2008. – 51, № 4. – С. 136–144.
100. *Опанасович В.К.* О двух подходах к исследованию антиплоской деформации изотропного массива с тонким упругим включением // Прикл. математика и механика. – 1988. – 52. – Вып. 1. – С. 116–119.
101. *Винницька Л., Савула Я.* Напружено-деформований стан пружного тіла з тонким включенням // Фіз.-мат. моделювання та інф. технології. – 2008. – № 7. – С. 21–29.
102. *Leite L.G.S., Coda H.B., Venturini W.S.* Two-dimensional solids reinforced by thin bars using the boundary element method // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2003. – 27. – P. 193–201.
103. *Leite L.G.S., Venturini W.S.* Boundary element formulation for 2D solids with stiff and soft thin inclusions // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2005. – 29. – P. 257–267.
104. *Padron L.A., Aznarez J.J., Maeso O.* BEM-FEM coupling model for the dynamic analysis of piles and pile groups // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2007. – 31. – P. 473–484.
105. *Riederer K., Duenser C., Beer G.* Simulation of linear inclusions with the BEM // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2009. – 33. – P. 959–965.

106. *Saleh A.L., Aliabadi M.H.* Crack growth analysis in reinforced concrete using BEM// J. Eng. Mech. – 1998 – 124, No. 9. – P.949–958.
107. *Aliabadi M.H., Saleh A.L.* Fracture mechanics analysis of cracking in plain and reinforced concrete using the boundary element method// Eng. Fract. Mech. – 2002. – 69. – P. 267–280.
108. *Лехницький С.Г.* Теорія еластичності анізотропного тіла. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
109. *Павлычко В.М., Сулим Г.Т.* Плоская задача для линейных включений на границе раздела анизотропных материалов. – Львов, 1987. – 11 с. – Ред. журн. «Физ.-хим. механика материалов». Деп. в ВИНТИ 15 янв. 1987 г., № 330-B87.
110. *Сулим Г.Т., Шевчук С.П.* Плоская задача для кусково-однородного анизотропного тела зі стрічковим пружним включенням// Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1999. – 35, № 6. – С. 7–16.
111. *Ting T.C.T.* Anisotropic elasticity: theory and applications. – New York: Oxford University Press, 1996. – 567 p.
112. *Pan E.* A general boundary element analysis of 2D linear elastic fracture mechanics// Int. J. Fract. – 1997. – 88 – P. 41–59.
113. *Fan H., Keer L.M.* Two-dimensional line defects in anisotropic elastic solids// Int. J. Fract. – 1993. – 62. – P. 25–42.
114. *Бурак Я.Й.* Вибрані праці. – Львів: НУЦДМІПІММ ім. Я.С.Підстригача НАН України. В-во «Ахіл», 2001. – 352 с.
115. *Бурак Я.Й., Гачкевич О.Р., Дробенко Б.Д.* Визначення параметрів термомеханічного стану термом'яких магнітотвердих феромагнітних тіл за умов дії квазіусталених електромагнітних полів // Доп. НАН України. – 2007. – № 8. – С. 53–58.
116. *Бурак Я.И., Чекурин В.Ф.* Физико-механические поля в полупроводниках. Математические основы теории. – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.
117. *Гачкевич А.Р.* Термомеханика электропроводных тел при воздействии квазиустановившихся электромагнитных полей. – К.: Наук. думка, 1992. – 192 с.
118. *Партон В.З., Кудрявцев Б.А.* Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. – М.: Наука, 1988. – 472 с.
119. *Подстригач Я.С., Бурак Я.И., Кондрат В.Ф.* Магнитотермоупругость электропроводных тел. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
120. *Терлецький Р.Ф.* Моделювання термомеханічної поведінки багатокомпонентних деформівних твердих тіл низької електропровідності при дії електромагнітного випромінювання. Ч.1. Балансові співвідношення механіки і другий закон термодинаміки // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2002. – 45, № 2. – С. 81–91.
121. *Терлецький Р.Ф.* Моделювання термомеханічної поведінки багатокомпонентних деформівних твердих тіл низької електропровідності при дії електромагнітного випромінювання. Ч. 2. Статистичний опис чинників дії електромагнітного поля на багатокомпонентні тіла // Мат/ методи та фіз.-мех. поля. – 2002. – 45, № 3. – С. 155–168.
122. *Haо T.H., Shen Z.Y.* A new electric boundary condition of electric fracture mechanics and its applications// Eng. Fract. Mech. – 1994. – 47. – P. 793–802.
123. *Zhao M.H., Wang H., Yang F., Liu T.* A magnetoelastic medium with an elliptical cavity under combined mechanical–electric–magnetic loading// Theoretical and Applied Fracture Mechanics – 2006. – 45. – P. 227–237.
124. *Denda M.* BEM analysis of semipermeable piezoelectric cracks// Key Engng. Materials. – 2008. – 383. – P. 67–84.
125. *Mikhailov G.K., Parton V.Z.* Electromagnetoelasticity. – New York: Hemisphere, 1990.
126. *Shindo Y., Ozawa E., Nowacki J.P.* Singular stress and electric fields of a cracked piezoelectric strip// Int. J. Appl. Electromagn. Mater. – 1990. – 1. – P. 77–87.
127. *Ang W.T., Athanasius L.* A boundary integral approach for plane analysis of electrically semi-permeable planar cracks in a piezoelectric solid// Engineering Analysis with Boundary Elements. – 2011. – 35. – P. 647–656.
128. *Kulikov A.A., Nazarov S.A.* Cracks in piezoelectric and electroconductive bodies// Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2007. – Vol. 1, No. 2. – P. 201–216.

129. Zhang T.Y., Zhao M.H., Tong P. Fracture of piezoelectric ceramics // Adv. Appl. Mech. –2002. – 38. – P. 147–289.
130. Chen Y.H., Hasebe N. Current understanding on fracture behaviors of ferroelectric/piezoelectric // J. Intell. Mater. Syst. Struct. – 2005. – 16. – P. 673–687.
131. Park S.B., Sun C.T. Fracture criteria for piezoelectric ceramics // J. Am. Ceram. Soc. – 1995. – 78. – P. 1475–1480.
132. Калюеров С.А., Баева А.И., Бороненко О.И. Двумерные задачи электро- и магнитоупругости для многосвязных областей: Монография. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2007. – 268 с.
133. Bardzokas D., Filshinsky M.L., Filshinsky L.A. Mathematical methods in electro-magneto-elasticity. – New York: Springer, 2007. – 530 p.
134. Qin Q.H. Fracture Mechanics of Piezoelectric Materials. – Boston: WIT Press, 2001.
135. Говоруха В.Б. Численно-аналитическое исследование трещины в области раздела двух пьезоэлектрических материалов // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер.: Механіка. – 2005. – Вип. 9, Т. 2. – С. 27–34.
136. Говоруха В.Б. О зоне электрического предразрушения в окрестности вершины трещины в пьезокерамическом материале // Вісн. Донец. ун-ту. Сер. А.: Природничі науки. – 2007. – Вип. 2. – С. 66–71.
137. Говоруха В.Б. Об электромеханических эффектах у вершины трещины между двумя пьезокерамическими материалами // Теорет. и прикладная механика. – 2007. – Вып. 43. – С. 176–182.
138. Говоруха В.Б., Геррманн К.П., Лобода В.В. Электрически проникаемая трещина с зонами контакта между двумя пьезоэлектрическими материалами // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 3. – С. 66–74.
139. Говоруха В.Б., Лобода В.В. Аналіз міжфазної тріщини в п'єзокерамічному тілі скінченних розмірів // Вісн. Київ. ун-ту. Сер.: фіз.-мат. науки. – 2008. – Вип. 4. – С. 47–52.
140. Говоруха В.Б., Лобода В.В. Вплив електричної проникності міжфазної тріщини на характеристики електромеханічного поля в околі її вершини // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. мех.-мат. – 2010. – Вип. 73. – С. 44–55.
141. Андрейків О.Є., Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Рудавський Д.В., Сергєєнко О.М. Коэффициенты интенсивности напряжень, спрчининених магнетним полем у ферромагнетиках // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – 44, № 3. – С. 130–132.
142. Кулинич Я.П., Назарчук З.Т. Интегральні рівняння для електромагнетного поля у провідному тілі з тріщиною // Відбір і оброб. інформації: Міжвід. зб. наук. пр. – 2005. – Вип. 23. – С. 11–16.
143. Pan E. A BEM analysis of fracture mechanics in 2D anisotropic piezoelectric solids // Eng. Anal. Bound. Elem. – 1999. – 23. – P. 67–76.
144. Rajapakse R.K.N.D., Xu X.-L. Boundary element modelling of cracks in piezoelectric solids // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2001. – 25. – P. 771–781.
145. Groh U., Kuna M. Efficient boundary element analysis of cracks in 2D piezoelectric structures // Int. J. Sol. Struct. – 2005. – 42. – P. 2399–2416.
146. Garcia-Sanchez F., Saez A., Dominguez J. Anisotropic and piezoelectric materials fracture analysis by BEM // Computers and Structures. – 2005. – 83. – P. 804–820.
147. Liew K.M., Sun Y., Kitipornchai S. Boundary element-free method for fracture analysis of 2-D anisotropic piezoelectric solids // Int. J. Num. Meth. Eng. – 2007. – 69. – P. 729–749.
148. Sheng N., Sze K.Y. Multi-region Trefftz boundary element method for fracture analysis in plane piezoelectricity // Comput. Mech. – 2006. – 37. – P. 381–393.
149. Sanz J.A., Ariza M.P., Dominguez J. Three-dimensional BEM for piezoelectric fracture analysis // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2005. – 29. – P. 586–596.
150. Qin T., Yu Y.S., Noda N.A. Finite-part integral and boundary element method to solve three-dimensional crack problems in piezoelectric materials // Int. J. Solids Struct. – 2007. – 44. – P. 4770–4783.
151. Rungamornrat J., Mear M.E. Analysis of fractures in 3D piezoelectric media by a weakly singular integral equation method // Int. J. Fract. – 2008. – 151. – P. 1–27.

152. *Qin Q.H.* Green's function and boundary elements of multifield materials. – Oxford: Elsevier, 2007. – 254 p.
153. *Yang J.* Special topics in the theory of piezoelectricity. – London: Springer, 2009. – 342 p.
154. *Подільчук Ю.Н., Дашко О.Г.* Напряженно-деформированное состояние упругого ферромагнетика с эллипсоидальным включением при действии однородного магнитного поля // Прикладная механика. – 2003. – 39, № 7. – С. 64–74.
155. *Подільчук Ю.Н.* Напряженное состояние ферромагнетика с эллиптической трещиной при действии однородного магнитного поля // Прикладная механика. – 2001. – 37, № 2. – С. 78–88.
156. *Подільчук Ю.Н.* Электроупругое равновесие трансверсально-изотропных пьезокерамических сред с полостями, включениями и трещинами // Прикладная механика. – 1998. – 34, № 10. – С. 109–119.
157. *Бабич И.Ю., Кирилок В.С.* Напряженное состояние электроупругого пространства с произвольно ориентированным трехосным эллипсоидальным включением // Приклад. механика. – 2009. – 45, № 4. – С. 72–80.
158. *Pan E., Albrecht J.D., Zhang Y.* Elastic and piezoelectric fields in quantum wire semiconductor structures – A boundary integral equation analysis // Phys. Stat. Sol. (b). – 2007. – 244, No. 6. – 1925–1939.
159. *Han F., Pan E., Albrecht J.D.* Strain and piezoelectric fields in embedded quantum wire arrays // Superlattices and Microstructures. – 2006. – 40. – P. 125–136.
160. *Pan E., Han F., Albrecht J.D.* Strain fields in InAs/GaAs quantum wire structures: Inclusion versus inhomogeneity // J. Appl. Phys. – 2005. – 98. – P. 013534.
161. *Ramsey J.J., Pan E., Chung P.W.* Modelling of strain fields in quantum wires with continuum methods and molecular statics // J. Phys.: Condens. Matter. – 2008. – 20. – P. 485215–27.
162. *Григолюк Э.И., Фильшинский Л.А.* Регулярные кусочно-однородные структуры с дефектами. – М.: Физматгиз, 1994. – 335 с.
163. *Xiao Z.M., Zhang H.X., Chen B.J.* Microcrack initiation at the tip of a semi-infinite rigid line inhomogeneity in piezoelectric solids // International Journal of Engineering Science. – 2005. – 43, No. 15–16. – P. 1223–1233.
164. *Wu L., Du S.* A rigid line in a confocal elliptic piezoelectric inhomogeneity embedded in an infinite piezoelectric medium // International Journal of Solids and Structures. – 2000. – 37, No. 10. – P. 1453–1469.
165. *Li X.-F.* Dynamic response of a piezoelectric material with a conducting rigid inclusion // Meccanica. – 2000. – 35. – P. 383–392.
166. *Кирилок В.С.* О напряженном состоянии пьезокерамического тела с плоской трещиной, раскрываемой жестким включением // Приклад. механика. – 2008. – 44, № 7. – С. 47–60.
167. *Gao C.-F., Fan W.-X.* An interface inclusion between two dissimilar piezoelectric materials // Applied Mathematics and Mechanics. – 2001. – 22, No. 1. – P. 96–104.
168. *Chen B.J., Shu D.W., Xiao Z.M.* Electro-elastic interaction between a piezoelectric screw dislocation and collinear rigid lines // International Journal of Engineering Science. – 2006. – 44. – P. 422–435.
169. *Huang Z., Kuang Z.-B.* Dislocation inside a piezoelectric media with an elliptic inhomogeneity // Int. J. Solid. Struct. – 2001. – 38. – P. 8459–8479.
170. *Сулим Г., Рабош П.* Антиплоска задача для тонкого пружного включення у п'єзоелектричному просторі // Вісн. Львів. ун-ту. Серія мех.-мат. – 2008. – 69. – С. 189–202.
171. *Сулим Г.Т., Кунець Я.І., Рабош П.В.* Асимптотичний аналіз динамічної взаємодії тонкого прямолінійного п'єзоелектричного включення з пружним середовищем за позовжнього зсуву // Вісн. Дон. ун-ту. – 2008. – № 1. – С. 137–141.
172. *Рабош П.В.* Динамічна взаємодія пружного середовища з тонкостінним криволінійним п'єзоелектричним включенням при позовжніх коливаннях композита // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2009. – 52, № 1. – С. 101–106.
173. *Лобода В.В., Ходанен Т.В.* Задача термоелектромагнітопружності для п'єзоелектричного/п'єзомагнітного біматеріалу з міжфазною тріщиною // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2008. – 51, № 3. – С. 121–132.

174. *Feng W.J., Pan E., Wang X.* Dynamic fracture analysis of a penny-shaped crack in a magneto-electroelastic layer // *International Journal of Solids and Structures.* – 2007. – 44. – P. 7955–7974.
175. *Li R., Kardomateas G.A.* The mixed mode I and II interface crack in piezoelectromagneto-elastic anisotropic bimetals // *Journal of Applied Mechanics.* – 2007. – 74. – P. 614–627.
176. *Sladek J., Sladek V., Wünsche M., Zhang Ch.* Analysis of an interface crack between two dissimilar piezoelectric solids // *Eng. Fract. Mech.* – 2012. – 89. – P. 114–127.
177. *Sladek J., Sladek V., Sulek P., Pan E.* Fracture analysis of cracks in magneto-electro-elastic solids by the MLPG // *Computational mechanics.* – 2008. – 42, No. 5. – P. 697–714.
178. *Tian W.Y., Gabbert U.* Multiple crack interaction problem in magneto-electroelastic solids // *European Journal of Mechanics A/Solids.* – 2004. – 23. – P. 599–614.
179. *Tian W.Y., Gabbert U.* Macrocrack-microcrack interaction problem in magneto-electroelastic solids // *Mechanics of Materials.* – 2005. – 37. – P. 565–592.
180. *Zhou Z.-G., Wang B., Sun Y.-G.* Two collinear interface cracks in magneto-electro-elastic composites // *International Journal of Engineering Science.* – 2004. – 42. – P. 1155–1167.
181. *Zhu T., Yang W.* Crack kinking in a piezoelectric solid // *International Journal of Solids and Structures.* – 1999. – 36. – P. 5013–5027.
182. *Dong C.Y., Lo S.H., Antes H.* Fracture analysis in 2D magneto-electro-elastic media by the boundary element method // *Comput. Mech.* – 2008. – 41. – P. 207–217.
183. *Garcia-Sanchez F., Rojas-Diaz R., Saez A., Zhang Ch.* Fracture of magneto-electroelastic composite materials using boundary element method (BEM) // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics.* – 2007. – 47. – P. 192–204.
184. *Rojas-Diaz R., Garcia-Sanchez F., Saez A.* Analysis of cracked magneto-electroelastic composites under time-harmonic loading // *International Journal of Solids and Structures.* – 2010. – 47. – P. 71–80.
185. *Zhu X., Huang Z., Jiang A., Chen W.Q., Nishimura N.* Fast multipole boundary element analysis for 2D problems of magneto-electro-elastic media // *Eng. Anal. Bound. Elem.* – 2010. – 34. – P. 927–933.
186. *Li J.Y.* Magneto-electric Green's functions and their application to the inclusion and inhomogeneity problems // *Int. J. Sol. Struct.* – 2002. – 39. – P. 4201–4213.
187. *Hou P.-F., Leung A.Y.T.* A spheroidal inclusion in an infinite magneto-electro-elastic material // *Int. J. Engng. Science.* – 2004. – 42. – P. 1255–1273.
188. *Midgley P.A., Dunin-Borkowski R.E.* Electron tomography and holography in materials science // *Nature Materials.* – 2009. – 8. – P. 271–280.
189. *Lang S.B.* Pyroelectricity: from ancient curiosity to modern imaging tools // *Physics Today.* – August 2005. – P. 31–36.
190. *Кім Г.С., Кривацун М.Г.* Плоскіе задачі термоупругості для тел с трещинами. – К.: Наук. думка, 1983. – 280 с.
191. *Кім Г.С., Сушко О.П.* Стационарне температурне поле у півбезмежному тілі з теплоактивним або теплоізолюваним дисковим включенням // *Фіз.-мат. моделювання та інформаційні технології.* – 2011. – Вип. 13. – С. 67–80.
192. *Кім Г.С., Сушко О.П.* Вплив джерела тепла на напружений стан тіла з теплоізолюваною круговою тріщиною // *Прикл. проблеми мех. і мат.* – 2011. – Вип. 9. – С. 11–121.
193. *Кім Г.С., Черняк М.С.* Напружений стан тіла з тепловідільними сферичними включеннями // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* – 2011. – 54, № 4. – С. 82–89.
194. *Кім Г.С., Черняк М.С.* Напружений стан тіл з термічними циліндричними включеннями та тріщинами (плоска деформація) // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 2010. – 46, № 3. – С. 30–37.
195. *Піскозуб Й.З., Сулим Г.Т.* Асимптотика напружень в околі кінців тонкого міжфазного вкраплення // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* – 1996. – 32, № 4. – С. 39–48.
196. *Sulim G.T., Piskozub J.Z.* Thermoelastic equilibrium of piecewise homogeneous solids with thin inclusions // *Journal of Engineering Mathematics.* – 2008. – 61. – P. 315–337.
197. *Добряк Д.А.* Периодическая задача термоупругости для пластины с упругими включениями // *Вісн. Донец. ун-ту. Сер. А: Природн. наук.* – 2008. – Вип. 1. – С. 98–105.



198. *Карнаухов В.Г., Михайленко В.В.* Нелинейная термомеханика пьезоэлектрических неупругих тел при моногармоническом нагружении. – Житомир: Изд-во ЖТТУ, 2005. – 428 с.
199. *Киричок И.Ф.* Вынужденные моногармонические колебания и виброразогрев вязкоупругих гибких круглых пластинок с пьезослоями // Приклад. механика. – 2013. – 49, № 6. – С. 100–112.
200. *Lu P., Tan M.J., Liew K.M.* Piezothermoelastic analysis of a piezoelectric material with an elliptic cavity under uniform heat flow // Archive of Applied Mechanics. – 1998. – 68. – P. 719–733.
201. *Liu Jinxi, Zhang Xiaosong, Liu Xianglin, Zheng Jian.* Anisotropic thermopiezoelectric solids with an elliptic inclusion or a hole under uniform heat flow // Acta Mechanica Sinica. – 2000. – Vol. 16, No. 2. – P. 148–163.
202. *Кирилюк В.С.* Термонапряженное состояние пьезокерамического тела с плоской трещиной при симметричном тепловом потоке с её поверхностей // Приклад. механика. – 2010. – 46, № 7. – С. 23–33.
203. *Gao C.-F., Wang M.-Z.* Collinear permeable cracks in thermopiezoelectric materials // Mechanics of Materials. – 2001. – 33. – P. 1–9.
204. *Gao C.-F., Kessler H., Balke H.* Fracture analysis of electromagnetic thermoelastic solids // European Journal of Mechanics A/Solids. – 2003. – 22. – P. 433–442.
205. *Калоеров С.А., Хорошев К.Г.* Термоэлектрорупкое состояние многосвязной анизотропной пластинки // Прикладная механика. – 2005. – Т. 41, № 11. – С. 116–126.
206. *Калоеров С.А., Хорошев К.Г.* Термоэлектрорупкое состояние анизотропной пластинки с отверстиями и трещинами // Теоретическая и прикладная механика. – 2005. – Вып. 41. – С. 124–133.
207. *Калоеров С.А., Сорочан О.А.* Двумерные задачи термоэлектромангнитоупругости для многосвязных сред // Теорет. и прикл. мех. – 2008. – Вып. 44. – С. 61–79.
208. *Калоеров С.А., Добряк Д.А.* Термоэлектромангнитоупругое состояние многосвязной анизотропной полуплоскости // Теорет. и прикл. мех. – 2010. – Вып. 1(47). – С. 45–61.
209. *Qin Q.H.* Green's function for thermopiezoelectric plates with holes of various shapes // Archive of Applied Mechanics. – 1999. – 69. – P. 406–418.
210. *Qin Q.H.* 2D Green's functions of defective magneto-electroelastic solids under thermal loading // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2005. – 29, No. 6. – P. 577–585.
211. *Hou P.F.* 2D fundamental solution for orthotropic pyroelectric media // Acta Mech. – 2009. – 206. – P. 225–235.
212. *Prasad N.N.V., Aliabadi M.H., Rooke D.P.* The dual boundary element method for thermoelastic crack problems // Int. J. Fract. – 1994. – 66. – P. 255–272.
213. *Mohammadi M., Hematiyan M.R., Aliabadi M.H.* Boundary element analysis of thermo-elastic problems with non-uniform heat sources // The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. – 2010. – 45. – P. 605–627.
214. *Mukherjee Y.X., Shah K., Mukherjee S.* Thermoelastic fracture mechanics with regularized hypersingular boundary integral equations // Engineering Analysis with Boundary Elements. – 1999. – 23. – P. 89–96.
215. *Koshelev V., Ghassemi A.* Complex variable BEM for thermo- and poroelasticity // Engineering Analysis with Boundary Elements. – 2004. – 28. – P. 825–832.
216. *Tokovyy Y., Ma C.-C.* An explicit-form solution to the plane elasticity and thermoelasticity problems for anisotropic and inhomogeneous solids // Int. J. Sol. Struct. – 2009. – 46, No. 21. – P. 3850–3859.
217. *Deb A., Banerjee P.K.* BEM for general anisotropic 2D elasticity using particular integrals // Commun. Appl. Num. Meth. – 1990. – 6. – P. 111–119.
218. *Deb A., Henry D.P. Jr., Wilson E.B.* Alternate BEM formulation for 2D and 3D anisotropic thermoelasticity // Int. J. Solids Struct. – 1991. – 27. – P. 1721–1738.
219. *Shiah Y.C., Tan C.L.* Exact boundary integral transformation of the thermoelastic domain integral in BEM for general 2D anisotropic elasticity // Computational Mechanics. – 1999. – 23. – P. 87–96.
220. *Shiah Y.C., Guao T.L., Tan C.L.* Two-dimensional BEM thermoelastic analysis of anisotropic media with concentrated heat sources // CMES. – 2005. – Vol. 7, No. 3. – P. 321–338.

221. *Shiah Y.C., Tan C.L.* Fracture mechanics analysis in 2-D anisotropic thermoelasticity using BEM // CMES. – 2000. – Vol. 1, No. 3. – P. 91–99.
222. *Ang W.T., Clements D.L.* Hypersingular integral equations for a thermoelastic problem of multiple planar cracks in an anisotropic medium // Engineering Analysis with Boundary Elements. – 1999. – 23, No. 9. – P. 713–720.
223. *Qin Q.H.* Fracture analysis of cracked thermopiezoelectric materials by BEM // Electronic Journal of Boundary Elements. – 2003. – Vol. 1, No. 2. – P. 283–301.
224. *Qin Q.H., Lu M.* BEM for crack-inclusion problems of plane thermopiezoelectric solids // Int. J. Numer. Meth. Eng. – 2000. – 48. – P. 1071–1088.
225. *Qin Q.H., Mai Y.W.* BEM for crack-hole problems in thermopiezoelectric materials // Engineering Fracture Mechanics. – 2002. – 69(5). – P. 577–588.
226. *Sladek J., Sladek V., Sulek P., Zhang Ch.* Fracture analysis in continuously nonhomogeneous magneto-electro-elastic solids under a thermal load by the MLPG // International Journal of Solids and Structures. – 2010. – 47. – P. 1381–1391.
227. *Hsieh M.C., Hwu C.* Hygrothermal stresses in unsymmetric laminates disturbed by elliptical holes // J. Appl. Mech. – 2006. – 73. – P. 228–239.
228. *Гайвась Б.* Модель формостійкості пористої пластини в процесі природного осушення // Фіз.-мат. модел. та інформ. техн. – 2010. – Вип. 11. – С. 56–65.
229. *Поберейко Б.П.* Вплив температури на міцність деревини у пружній області деформування // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.2. – С. 61–66.
230. *Tadeu A., Simoes N., Branco F.* Steady-state moisture diffusion in curved walls, in the absence of condensate flow, via the BEM: a practical Civil Engineering approach (Glaser method) // Building and Environment. – 2003. – 38. – P. 677–688.
231. *Линьков А.М.* Комплексный метод граничных интегральных уравнений теории упругости. – СПб.: Наука, 1999. – 382 с.
232. *Фильштинский Л.А.* Двоякопериодическая задача теории упругости для анизотропной среды с криволинейными разрезами // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1977. – № 6. – С. 116–124.
233. *Choi H.J.* A periodic array of cracks in a functionally graded nonhomogeneous medium loaded under in-plane normal and shear // Int. J. Fract. – 1997. – 88. – P. 107–128.
234. *Божидарнік В.В., Максимович О.В.* Пружна та гранична рівновага анизотропних пластинок з отворами і тріщинами. – Луцьк: ЛДТУ, 2003. – 228 с.
235. *Chen Y.Z.* Periodic rigid line problem in an infinite plate // Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv). – 1993. – 63, No. 7. – P. 464–471.
236. *Грилицкий Д.В., Сулим Г.Т.* Периодическая задача для упругой плоскости с тонкостенными включениями // Прикладная математика и механика. – 1975. – 39, № 3. – С. 520–529.
237. *Мартыняк Р.М., Сулим Г.Т.* Периодическая задача для системы линейных компланарных включений в изотропной плоскости // Мат. методы и физ.-мех. поля. – Киев: Наук. думка, 1982. – Вип. 15. – С. 113–117.
238. *Опанасович В.К., Драган М.С.* Периодическая система параллельных тонких упругих включений в плоскости // Вестн. Львов. ун-та. Сер. мех.-мат. – 1985. – Вип. 23. – С. 83–89.
239. *Космодамианский А.С.* Напряженное состояние анизотропных сред с отверстиями или полостями. – К.: Вища школа, 1976. – 200 с.
240. *Clouetau D., Elhabre M.L., Aubry D.* Periodic BEM and FEM-BEM coupling // Comp. Mech. – 2000. – 25, No. 6. – P. 567–577.
241. *Коваленко Ю.Ф., Салганик П.Л.* Трещиновидные неоднородности и их влияние на эффективные механические характеристики // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1977. – № 5. – С. 76–86.
242. *Wang J., Fang J., Karihaloo B.L.* Asymptotic of multiple crack interactions and prediction of effective modulus // Int. J. Sol. Struct. – 2000. – 37. – P. 4261–4273.

243. Wang G.S. The interaction of doubly periodic cracks // *Theor. Appl. Fract. Mech.* – 2004. – 42. – P. 249–294.
244. Dong C.Y., Lee K.Y. Numerical analysis of doubly periodic array of cracks/rigid-line inclusions in an infinite isotropic medium using the boundary integral equation method // *Int. J. Fract.* – 2005. – 133. – P. 389–405.
245. Максимович О.В. Двоперіодичні задачі теорії пружності для анізотропних пластинок із тріщинами // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 33. – С. 136–143.
246. Xiao J., Jiang C. Exact solution for orthotropic materials weakened by doubly periodic cracks of unequal size under antiplane shear // *Acta Mechanica Solida Sinica.* – 2009. – Vol. 22, No. 1. – P. 53–63.
247. Malits P. Doubly periodic array of thin rigid inclusions in an elastic solid // *Q. J. Mech. Appl. Math.* – 2010. – Vol. 63, No. 2. – P. 115–144.
248. Oranasovich V., Porochovsky V., Delyavsky M. Antiplane deformation of isotropic body with a periodic system of thin rectilinear inclusions // *J. Theor. Appl. Mech.* – 1999. – 37, No. 1. – P. 65–79.
249. Фильштинский Л.А., Долгих В.Н. Модель анизотропной среды, армированной тонкими лентами // *Прикл. механика.* – 1979. – Т. 15, № 4. – С. 24–30.
250. Li J.Y. Magneto-electroelastic multi-inclusion and inhomogeneity problems and their applications in composite materials // *International Journal of Engineering Science.* – 2000. – 38. – P. 1993–2011.
251. Liu Y. A new fast multipole boundary element method for solving large-scale two-dimensional elastostatic problems // *Int. J. Numer. Meth. Engng.* – 2006. – 65. – P. 863–881
252. Mykhas'kiv V.V., Khay O.M., Zhang Ch., Bostrom A. Effective dynamic properties of 3D composite materials containing rigid penny-shaped inclusions // *Waves in Random and Complex Media.* – 2010. – 20, No. 3. – P. 491–510.
253. Леценко П.В., Маслов Б.П. Эффективные постоянные пьезоактивных композитов стохастической структуры // *Прикладная механика.* – 1987. – 23, № 3. – С. 71–77.
254. Маслов Б.П., Леценко П.В. Прогнозирование эффективных свойств пьезомагнитной керамики, упрочненной дискретными волокнами // *Прикладная механика.* – 1981. – 17, № 8. – С. 114–118.
255. Хорошун Л.П., Дородных Т.И. Задача об эффективных свойствах стохастических пьезомагнитных композитных материалов // *Теорет. и прикладная механика.* – 2001. – Вып. 32. – С. 3–16.
256. Хорошун Л.П., Маслов Б.П., Леценко П.В. Прогнозирование эффективных пьезоактивных композитных материалов. – К.: Наук. думка, 1989. – 208 с.
257. Хорошун Л.П., Маслов Б.П., Шкула Е.Н., Назаренко Л.В. Статистическая механика и эффективные свойства материалов. – К.: Наук. думка, 1993. – 390 с.
258. Шульга Н.А. Эффективные магнитоупругие свойства слоистых композитов // *Прикладная механика.* – 2006. – 42, № 8. – С. 36–43.
259. Шульга Н.А. Эффективные физико-механические свойства мелкослоистых пьезоэлектрических и пьезомагнитных материалов // *Сопротивление материалов и теория сооружений.* – 1986. – Вып. 48. – С. 43–45.
260. Liu Y.J., Chen X.L. Continuum models of carbon nanotube-based composites using the boundary element method // *Electronic Journal of Boundary Elements.* – 2003. – Vol. 1, No. 2. – P. 316–335.
261. Dong C.Y. Effective elastic properties of doubly periodic array of inclusions of various shapes by the boundary element method // *Int. J. Sol. Struct.* – 2006. – 43. – P. 7919–7938.
262. Lin'kov A.M., Koshelev V.F. Complex variables BIE and BEM for a plane doubly periodic system of flaws // *J. Chinese Institute of Engineers.* – 1999. – Vol. 22, No. 6. – P. 709–720.
263. Chen Y.Z., Hasebe N., Lee K.Y. Multiple crack problems in elasticity. – Southampton: WIT, 2003. – 356 p.
264. Xiao J.H., Xu Y.L., Jiang C.P. Exact solution to the antiplane problem of doubly periodic conducting rigid line inclusions of unequal size in piezoelectric materials // *Z. Angew. Math. Mech.* – 2011. – 91, No. 5. – P. 413–424.

265. *Осів О.П., Сулим Г.Т.* Антиплоска деформація ізотропного середовища зі злученими пружними стрічковими включеннями // *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій.* – 2002. – Вип. 5. – С. 154–164.
266. *Osiv O., Subym G.* Antiplane deformation of isotropic medium with connected elastic ribbon-like inclusions // *Abstracts of the Fourth Polish-Ukrainian Conference “Current Problems in Mechanics of Nonhomogeneous Media”* (Łódź, 4–8 Sept., 2001). – Łódź: Technol. Univ. of Łódź, 2001. – P. 46.
267. *Шацький І.П., Кундрат А.М.* Антиплоска деформація пружного простору зі зв'язаними жорсткими стрічковими включеннями // *Доп. НАН України.* – 2004. – № 11. – С. 55–60.
268. *Кундрат А.М.* Антиплоска задача для пружного простору із жорстким тонкостінним кутником // *Наукові нотатки.* – 2007. – Вип. 20, Т. 1. – Луцький національний технічний університет. – С. 245–249.
269. *Кундрат А.М.* Ізотропне тіло армоване фасонними профілями тавра та кутника в умовах поздовжнього зсуву // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування.* – 2009. – 46, вип. 2. – С. 173–178.
270. *Антипов Ю.А., Попов Г.Я., Яцко С.И.* Решение задач о концентрации напряжений возле пересекающихся дефектов при помощи задачи Римана с бесконечным индексом // *Прикладная математика и механика.* – 1987. – 51, № 3. – С. 458–467.
271. *Попов В.Г.* Динамическая задача теории упругости для плоскости, содержащей жесткое крестообразное включение // *Прикладная математика и механика.* – 1993. – 57, № 1. – С. 100–115.
272. *Григорян Э.Х., Торосян Д.Р., Шагинян С.С.* Задача для упругой плоскости, содержащей крестообразное включение // *Известия НАН Армении. Механика.* – 2002. – 55, № 1. – С. 6–16.
273. *Zheng S.F., Denda M., Weng G.J.* Interfacial partial debonding and its influence on the elasticity of a two-phase composite // *Mechanics of Materials.* – 2000. – 32. – P. 695–709.
274. *Tvergaard V.* Debonding of short fibres among particulates in a metal matrix composite // *Int. J. Sol. Struct.* – 2003. – 40. – P. 6957–6967.
275. *Chaudhuri R.A.* Three-dimensional singular stress field near a partially debonded cylindrical rigid fiber // *Composite Structures.* – 2006. – 72. – P. 141–150.
276. *Ильина И.И., Сильвестров В.В.* Задача о тонком жестком межфазном включении, отслоившемся вдоль одной стороны от среды // *Изв. РАН. Мех. твердого тела.* – 2005. – № 3. – С. 153–166.
277. *Ильина И.И., Сильвестров В.В.* Частично отслоившееся тонкое жесткое включение между разными упругими материалами при наличии трения в зоне контакта // *Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия.* – 2007. – № 4 (54). – С. 124–139.
278. *Руссакова И.И.* Плоскость с включением, отслоившемся вдоль одной стороны от среды, под действием различных нагрузок при наличии трения // *Труды Всеросс. науч. конф. (26–28 мая 2004 г.). Часть 1, Мат. модел. мех., прочн. и надежн. конструкций, Мат. модел. и краев. задачи, СамГУ.* – Самара, 2004. – С. 191–194.
279. *Ярдухин А.К.* Аналитическое решение задачи взаимодействия межфазной трещины с отслоившимся межфазным включением при наличии сосредоточенных сил // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки.* – Самара, 2003. – 19. – С. 107–110.
280. *Мойсеенок А.П., Попов В.Г.* Нестационарная задача о концентрации упругих напряжений вблизи тонкого жесткого отслоившегося включения находящегося в условиях плоской деформации // *Вісн. Дніпр. ун-ту.* – 2007, №2/2. – Серія МЕХАНІКА. – Вип. 11. – Т. 2. – С. 130–140.
281. *Moraru G.* Concentration of stresses near a debonded flexible inclusion in plane elasticity // *Rev. Roum. Sci. Techn. – Méc. Appl. – Bucarest, 2008. – TOME 53, No. 2. – P. 175–182.*
282. *Сяський А.О., Батишкіна Ю.В.* Часткове симетричне підсилення криволінійного отвору в нескінченній пластинці // *Вісник ТДТУ.* – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 5–12.
283. *Сяський А.О., Шевцова Н.В.* Пружна рівновага пластинки з криволінійним контуром, частково підсиленою системою трьох несиметричних ребер // *Вісник ТДТУ.* – 2008. – Т. 13, № 1. – С. 13–19.

284. *Сяський А.О., Трохимчук О.Я.* Мішана контактна задача для пластинки з криволінійним отвором і системи штампів з кутовими точками // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. «Машинобудування». – К., 2010. – № 58. – С. 36–41.
285. *Божидарник В.В.* Двовимірні задачі пружності й термопружності структурно-неоднорідних тіл. – Львів: Світ, 1998. – 352 с.
286. *Савин Г.Н.* Концентрація напружень около отверстий. – М.: Гос. изд-во тех.-теор. л-ры, 1951. – 496 с.
287. *Савин Г.Н., Флейшман Н.П.* Пластинки и оболочки с ребрами жесткости. – К.: Наук. думка, 1964. – 384 с.
288. *Савин Г.Н., Тульчий В.И.* Пластинки, подкрепленные составными кольцами и упругими накладками. – К.: Наук. думка, 1971. – 268 с.
289. *Савин Г.Н.* Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наук. думка, 1968. – 888 с.
290. *Шереметьев М.П.* Пластинки с подкрепленным краем. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1960. – 258 с.
291. *Калоеров С.А., Добряк Д.А.* Термоупругое состояние анизотропной пластинки с упругими кольцами // Теорет. и прикл. мех. – 2009. – Вып. 46. – С. 155–168.
292. *Назарчук З.Т.* Моделювання розсіяння електромагнетних хвиль тонким діелектричним покривом на циліндрі // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – 42, № 1. – С. 96–104.
293. *Benedetti I., Aliabadi M.H., Milazzo A.* A fast BEM for the analysis of damaged structures with bonded piezoelectric sensors // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. – 2010. – 199. – P. 490–501.
294. *Бережницький Л.Т., Громяк Р.С., Труш І.І.* О построении диаграмм локального разрушения для хрупких тел с остроконечными жесткими включениями // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1975. – 11, № 5. – С. 40–47.
295. *Бережницький Л.Т., Панасюк В.В., Труш І.І.* О локальном разрушении хрупкого тела с остроконечными жесткими включениями // Пробл. прочности. – 1973. – № 10. – С. 8–11.
296. *Gdoutos E.E.* Fracture mechanics. – Dordrecht: Springer, 2005. – 369 p.
297. *Mechanics of Fracture / ed. G.C. Sih.* – Leyden: Noordhoff, 1973. – 517 p.
298. *Попина С.Ю., Сулим Г.Т.* Предельная нагрузка для хрупкого тела с тонкостенным упругим включением // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1987. – 23, № 2. – С. 115–118.
299. *Кундрат Н.М.* Отслоение включения в ортогруппной композиции // Прикл. механика. – 2000. – 36, № 9. – С. 123–128.
300. *Dal Corso F., Bigoni D., Gei M.* The stress concentration near a rigid line inclusion in a prestressed, elastic material. Part I Full-field solution and asymptotics // J. Mech. Phys. Sol. – 2008. – 56, No. 3. – P. 815–838.
301. *Dal Corso F., Bigoni D., Gei M.* The stress concentration near a rigid line inclusion in a prestressed, elastic material. Part II Implications on shear band nucleation, growth and energy release rate // J. Mech. Phys. Sol. – 2008. – 56, No. 3. – P. 839–857.
302. *Стадник М.М., Андрейкив А.Е.* Прочность материалов, содержащих системы тонких включений // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1986. – 22, № 1. – С. 29–35.
303. *Силованюк В.П., Юхим Р.Я.* Деформація та руйнування матеріалів біля включень під статичним навантаженням тіла // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – 43, № 6. – С. 31–35.
304. *Сулим Г.Т.* Применение формулы Сомильяна в задачах теории упругости для тел с тонкостенными включениями // Мат. методы и физ.-мех. поля. – Киев: Наук. думка, 1983. Вып. 18. – С. 48–51.
305. *Pasternak Ia.* Coupled 2D electric and mechanical fields in piezoelectric solids containing cracks and thin inhomogeneities // Engineering Analysis with Boundary Elements. – 2011. – 35. – No. 4. – P. 678–690.
306. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T.* Solution of the problems of antiplane deformation of bodies with thin ribbonlike inclusions by the methods of integral equations. I. General relations // Materials Science. – 2011. – 47, No. 1. – P. 36–44.
307. *Pasternak Ia.M., Sulym H.T.* Dual boundary element method for problems of the theory of thin inclusions // J. Math. Sci. – 2011. – 178, No. 4. – P. 421–434.

308. *Pasternak Ia.* Doubly periodic arrays of cracks and thin inhomogeneities in an infinite magnetoelastic medium // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2012. – 36. – No. 5. – P. 799–811.
309. *Pasternak Ia.* Boundary integral equations and the boundary element method for fracture mechanics analysis in 2D anisotropic thermoelasticity // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2012. – 36, No. 12. – P. 1931–1941.
310. *Pasternak Ia.M.* Plane problem of elasticity for anisotropic bodies with thin elastic inclusions // *J. Math. Sci.* – 2012. – 186, No. 1. – P. 31–47.
311. *Pasternak Ia., Sulym H.* Stroh formalism based boundary integral equations for 2D magnetoelasticity // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2013. – 37, No. 1. – P. 167–175.
312. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* A comprehensive study on the 2D boundary element method for anisotropic thermoelastic solids with cracks and thin inhomogeneities // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2013. – 37, No. 2. – P. 419–433.
313. *Pasternak Ia., Sulym H.* Stress state of solids containing thin elastic crooked inclusions // *J. Eng. Math.* – 2013. – 78. – P. 167–180.
314. *Pasternak Ia.M., Vasil'ev K.V., Sulym H.T.* Antiplane deformation by concentrated factors of bounded bodies with cracks and rigid inclusions // *J. Math. Sci.* – 2013. – 190, No. 5. – P. 710–724.
315. *Pasternak Ia.M., Sulym H.T.* Coupled 2D electric, magnetic, and mechanical fields in dielectrics with cracks and thin inclusions // *J. Math. Sci.* – 2013. – 192, No. 5. – P. 565–582.
316. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T.* Solution of the problems of antiplane deformation of bodies with thin ribbonlike inclusions by the methods of integral equations. II. Analysis of the stress concentration and stress intensity // *Materials Science*. – 2013. – 48, No. 6. – P. 788–794.
317. *Sulym H., Pasternak Ia., Kutsyk S., Grodzki W.* Doubly periodic sets of thin branched inclusions in the elastic medium: stress concentration and effective properties // *Acta mechanica et automatica*. – 2013. – Vol. 7, No. 1. – P. 48–52.
318. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Boundary integral equations for 2D thermoelasticity of a half-space with cracks and thin inclusions // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2013. – 37, No. 11. – P. 1514–1523.
319. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Temperature field and heat flux that do not induce stress and electric displacement in a free thermoelastic anisotropic solid // *Mechanics Research Communications*. – 2014. – 57. – P. 40–43.
320. *Pasternak Ya.M., Sulim G.T.* Plane problem of elasticity for an anisotropic body with doubly periodic systems of thin inhomogeneities // *Mechanics of Solids*. – 2014. – Vol. 49, No. 2. – P. 162–174.
321. *Pasternak I.M., Sulym H.T., Oliyarnyk N.R.* Antiplane deformation of anisotropic bodies with periodic systems of thin inhomogeneities // *Materials Science*. – 2014. – Vol. 49, No. 5. – P. 602–611.
322. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Boundary integral equations and Green's functions for 2D thermoelastic bimaterial // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2014. – 48. – P. 87–101.
323. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T., Pasternak R.M.* Generalized Somigliana identity for thermomagnetoelastic anisotropic bodies // *J. Math. Sci.* – 2015. – 205, No. 5. – P. 677–690.

#### REFERENCES

1. *Woo H.-G., Li H.* *Advanced functional materials*. London: Springer, 2011, 350 p.
2. *Moskowitz S.L.* *The advanced materials revolution: technology and economic growth in the age of globalization*. Wiley, 2009, 280 p.
3. *Vanin G.A.* *Mekhanika lentochnykh kompozitov (Mechanics of ribbon-like composites)* // *Int. Appl. Mech.*, 1985, 21, No. 4, P. 24–32.
4. *Goldwasser D.J., Otocka E.P., Kear B.H.* The mechanical behavior of polysulfone matrix composites reinforced with amorphous metal ribbon. *Mater. Sci. and Eng.*, 1978, 34, No. 2, P. 139–146.

5. *Pollock J.T., Arthur J.* Tensile strength of ribbon reinforced composites. *Mater. Sci. and Eng.*, 1975, 2, No. 18, P. 209–212.
6. *Rexer J., Anderson E.* Composites with planar reinforcements (flakes, ribbons). A review. *Polym. Eng. and Sci.*, 1979, 19, No. 1, P. 1–11.
7. *Bower C., Rosen R., Jin L., Han J., Zhou O.* Deformation of carbon nanotubes in nanotube-polymer composites. *Applied Physics Letters*, 1999, 74, P. 3317–3319.
8. *Qian D., Dickey E.C., Andrews R., Rantell T.* Load transfer and deformation mechanisms in carbon nanotube-polystyrene composites. *Applied Physics Letters*, 2000, 76, P. 2868–2870.
9. *Schadler L.S., Giannaris S.C., Ajayan P.M.* Load transfer in carbon nanotube epoxy composites. *Applied Physics Letters*, 1998, 73, P. 3842–3844.
10. *Wagner H.D., Lourie O., Feldman Y., Tenne R.* Stress-induced fragmentation of multiwall carbon nanotubes in a polymer matrix. *Applied Physics Letters*, 1998, 72, P. 188–190.
11. *Chen X.L., Liu Y.J.* Square representative volume elements for evaluating the effective material properties of carbon nanotube-based composites. *Computational Materials Science*, 2004, 29, No. 1, P. 1–11.
12. *Liu Y.J., Chen X.L.* Evaluations of the effective materials properties of carbon nanotube-based composites using a nanoscale representative volume element. *Mechanics of Materials*, 2003, 35, P. 69–81.
13. *Bardzokas D.I., Zobnin A.I., Senik N.A., Filishtinskii M.L.* Sticheskie i dinamicheskie zadachi elektropругosti dlia sostavnykh mnogoviaznykh tel (Static and dynamic problems of electroelasticity for composite multiconnected solids). Moscow: KomKniga, 2005, 312 p.
14. *Syrkin L.N.* Piezomagnitnaya keramika (Piezomagnetic ceramics). Leningrad: Energiia, 1980, 208 p.
15. *Ulitko A.F., Mol'chenko L.V., Koval'chuk V.F.* Magnitopruzhnist' pry dynamichnomu navantazheni (Magnetoelasticity at dynamic loading). Kyiv: Lybid', 1994, 155 p.
16. *Encyclopedia of smart materials / ed. by M. Schwartz.* New York: Wiley, 2002, 1073 p.
17. *Lin Y., Sodano H.A.* Fabrication and electromechanical characterization of a piezoelectric structural fiber for multifunctional composites. *Advanced Functional Materials*, 2009, 19, P. 592–598.
18. *Lin Y., Sodano H.A.* A double inclusion model for multiphase piezoelectric composites. *Smart Materials and Structures*, 2010, 19, No. 3.
19. *Kaloerov S.A., Petrenko A.V.* Dvumernye zadachi elektromagnitnouprugosti dlia mnogoviaznykh tel (Two-dimensional problems of electromagnetoelasticity for multi-connected solids). Donetsk: Yugo-Vostok, 2011, 232 p.
20. *Eerenstein W., Mathur N.D., Scott J.F.* Multiferroic and magnetoelectric materials. *Nature*, 2006, 442, P. 759–765.
21. *Glinchuk M.D., Eliseev E.A., Morozovska A.N., Blinc R.* Giant magnetoelectric effect induced by intrinsic surface stress in ferroic nanorods. *Phys. Rev. B*, 2008, 77, No. 2, P. 024106-11.
22. *Vaz C.A.F., Hoffman J., Ahn C.H., Ramesh R.* Magnetoelectric Coupling Effects in Multiferroic Complex Oxide Composite Structures. *Adv. Mater.*, 2010, 22, P. 2900–2918.
23. *Burak Ia., Kondrat V., Hrytsyna O.* Osnovy lokal'no gradiientnoyi teorii dielektrykiv (The bases of locally gradient theory of dielectrics). Uzhgorod: Lira, 2011, 208 p.
24. *Kondrat V., Hrytsyna O.* Liniini teorii elektromagnitomekhaniky dielektrykiv (Linear theories of electromagnetomechanics of dielectrics). *Fiz.-mat. modeliuvannia ta inform. technolog.*, 2009, Issue 9, P. 7–46.
25. *Murakami Y.* Metal fatigue: effects of small defects and nonmetallic inclusions. Elsevier, 2002, 369 p.
26. *Yasniy P.V.* Plastychno deformovani materialy: vtoma i trishchynovytrymkist' (Plastic deformed materials: fatigue and fracture toughness). Lviv: Svit, 1998, 292 p.
27. *Marukha V.I., Panasyuk V.V., Sylovanyuk V.P.* Inyektysni tekhnologiyi vidnovlennya robotozdatnosti poshkodzhennykh sporud tryvaloyi ekspluatatsiyi (Injection technologies for

- restoring the workability of defective buildings of long-term exploit). Lviv: SPOLOM, 2009, 262 p.
28. *Marukha V.I., Serednytskyi Ya.A., Gnyp I.P., Sylovanyuk V.P.* Rozrobka inyeektsiynnykh tekhnologiy ta stvorennia kompleksu presuvnogo ustatkuvannia dlia diagnostyky ta vidnovlennia pratsezdatsnosti betonnykh i zalizobetonnykh konstruksiy i sporud, shcho ekspluatuyutsia v umovakh korozivno-mechanichnogo ruynuvannia (Development of injection technologies and production of the complex of mobile devices for diagnostics and restoring of workability of concrete and ferroconcrete structures and buildings, which are exploited at the conditions of corrosion-mechanical fracture). *Nauka ta innovatsii*, 2007, Vol. 3, No. 5, P. 26–33.
  29. *Panasjuk V.V., Sylovanyuk V.P., Marukha V.I.* Mitsnist' poshkodzhenykh trishchynamy elementiv konstruksiy, zalikovanykh za inyeektsiynny tekhnolohiyamy. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2005, No. 6, P. 60–64.
  30. *Sylovanyuk V.P., Marukha V.I., Onyshchak N.V.* Zalyshkova mitsnist' tsylindrychnykh elementiv z trishchynamy, zalikovanykh za inyeektsiynnoyu tekhnolohiyeyu. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2007, No.1, P. 99–104.
  31. *Panasjuk V., Sylovanyuk V., Marukha V.* Static and cyclic strength of a cracked body which strengthened by injection technologies. *Acta mechanica et automatica*, 2007, Vol. 1, No. 1 – P. 85–88.
  32. *Hrylits'kyi D.V., Sulym H.T.* Rozvytok teorii tonkostinnykh vkluchen' u L'viv'skomu derzhavnomu universyteti. *Visn. L'viv. un-tu. Ser. mekh.-mat, L'viv: Vyscha shkola. Vyd-vo pry L'viv. un-ti*, 1987, Vyp. 27, P. 3–9.
  33. *Sulym H.T., Piskozub Y.Z.* Umovy kontaktnoyi vzayemodiyi til (ohlyad). *Mat. metody i fiz.-mekh. polya*, 2004, 47, No. 3, P. 110–125.
  34. *Popov H.Ya.* Vklad odeskykh yssledovateley v rozvytye metodov reshenyia smeshannykh zadach mekhaniky deformyruemoho tela. *Tez. dokl. IV Vsesoyuz. konf. «Smeshannye zadachy mekhaniky deformyruemoho tela» (Odessa, 26–29 sent. 1989 h.)*.— Odessa, 1989, T. 2, P. 59–60.
  35. *Mura T.* Inclusion problem. *Appl. Mech. Rev.*, 1988, 41, P. 15–20.
  36. *Sulym H.T.* Osnovy matematychnoyi teorii termopruzhnoyi rivnovahy deformivnykh tverdyykh til z tonkymy vkluchennyamy, L'viv: Doslidno-vydavnychyy tsentr NTSh, 2007, 716 p.
  37. *Pidstryhach Ya.S.* Umovy teplovoho kontaktu tverdyykh til. *Dop. AN URSR. Ser. A*, 1963, No. 7, P. 872–874.
  38. *Aleksandrov V.M., Mkhlytaryan S.M.* Kontaktnye zadachy dlya tel s tonkymy pokrytyyamy y prosloykamy, M.: Nauka, 1983, 487 p.
  39. *Aleksandrov V.M., Pozharskyi D.A.* Neklassycheskye prostranstvennye zadachy mekhaniky kontaktnykh vzaymodeystviy upruhykh tel, M.: Faktorial, 1998, 223 p.
  40. *Aleksandrov V.M., Smetanyn B.Y., Sobol' B.V.* Tonkye kontsentratory napryazheny v upruhykh telakh, M.: Fyzmatlyt, 1993, 224 s.
  41. *Arutyunyan N.Kh.* Povedenye reshenyia zadach teoryi uprughosti v neohranychnykh oblastyakh s paraboloidal'nymy y tsylindrycheskymy vkluchennyamy yly polostyamy. *Uspekhy mat. nauk*, 1987, T. 10, No. 4, P. 3–91.
  42. *Bozhydamik V.V., Andreykiv O.Ye., Sulym H.T.* Mekhanika ruynuvannya, mitsnist' i dovhovichnist' neperervno armovanykh kompozytiv. *Monohrafiya. U 2-kh t, Luts'k: Nadstyyra*, 2007.
  43. *Vynnyts'ka L.I., Hryhorenko Ya.M., Savula Ya.H.* Heterohenna matematychna model' pruzhnogo tila z tonkym podatlyvym na z-hyn vkluchennyam. *Dop. NAN Ukrayiny*, 2009, No. 9, P. 62–66.
  44. *Vyshnevskyi K.V., Kushnir R.M.* Hranichnye intehral'nye uravneniya dlya tela s inorodnymi vkluchenyiami. *Mat. metody i fiz.-mekh. polya*, 1996, 39, No. 1, P. 37–41.



45. *Berezhnytskyi L.T., Panasyuk V.V., Stashchuk N.H.* Vzaimodeystvie zhestkikh lineynykh vklyucheniyy i treshchin v deformiruemom tele. K.: Nauk. dumka, 1983, 288 p.
46. *Hryhorenko O., Savula N.* Polivymirna krayova zadacha heterohennoyi matematychnoyi modeli kontaktnoyi vzyemodiyi pruzhnogo tila z tonkym vklyuchennyam. *Visn. L'viv. un-tu. Ser. prykl. matem. ta inform.*, 2006, Vyp. 11, C. 120–126
47. *Huz' A.N.* Mekhanika khrupkoho razrusheniya materialov s nachal'nymi napryazheniyami, K.: Nauk. dumka, 1983, 296 p.
48. *Denysyuk I.T.* Odnа model' tonkikh upruhikh vklyucheniyy v izotropnoy plastinke. *Izv. Ros. AN. Mekhanika tverdogo tela*, 2000, No. 4, P. 140–148.
49. *Martynyak R.M.* Mekhanodyfuziyna vzyemodiya til z urakhuvannym zapovnyuvachа mizhkontaktnykh zazoriv. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2000, 36, No. 2, P. 124–126.
50. *Matysyak S.Y., Yevtushenko O.O., Zelenyak V.M.* Nahrivannya pivprostoru z vklyuchennyam i trishchynoyu. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2004, 40, No. 4, P. 34–40.
51. *Kaloerov S.A., Avdyushina E.V., Kachan Yu.B.* Napryazhennoe sostoyanie kusochno-odnorodnogo anizotropnogo poluprostranstva s treshchinamy, upruhimi i zhestkimi vklyuchenyami. *Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika, Donetsk*, 2002, Vyp. 35, P. 53–65.
52. *Hudramovych V.S.* Teoriya polzuchesti i ee prilozheniya k raschetu elementov tonkostennykh konstruksiy, K.: Nauk. dumka, 2005, 223 p.
53. *Kit H.S., Emets V.F., Kunets Ya.I.* Asimptoticheskoe povedenie resheniya zadachi rasseyaniya upruhoy volny tonkostennym inorodnym vklyucheniem. *Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela*, 1999, No. 3, P. 55–64.
54. *Kit H.S., Kunets Ya.I., Mykhas'kiv V.V.* Vzaimodeystvie statsionarnoy volny s tonkim diskoobraznym vklyucheniem maloy zhestkosti v upruhom tele. *Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela*, 2004, No. 5, PS. 82–89.
55. *Kunets' Ya.I.* Pruzhna rivnovaha tila z tonkym hostrokintsevym m'yakym vklyuchennyam v umovakh pozdovzhn'oho zsvuu. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2004, 47, No. 3, P. 144–148.
56. *Loboda V.V.* Primenenie metoda osredneniya k raschetu plity, podkreplennoy strinheramy. *Prikl. mat. i mekhanika*, 1981, 45, No. 5, P. 867–875.
57. *Meleshko V.V.* Heneratsiya akusticheskikh voln v poluprostranstve pryamouhol'nym izluchatelem konechnykh razmerov. *Akust. visn*, 1999, 2, No. 1, P. 42–49.
58. *Mykhas'kiv V.V., Khay O.M.* Symetrychnа zadacha ustalenoй vzyemodiyi trishchyn i tonkykh zhorstkykh vklyuchen' u tryvymirnyy matrytsi. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2003, 39, No. 2.
59. *Movchan A.B., Morozov N.F., Nazarov S.A.* O razrushenii vblizi pikoobraznykh vklyucheniyy pri posadke s natyahom. *Plastichnost' i razrushenie tverd. tel.*, M., 1988, P. 137–145.
60. *Kushnir R.M., Nykolyshyn M.M., Osadchuk V.A.* Pruzhnyy ta pruzhno-plastychnyy hranychnyy stan obolonok z defektamy, L'viv: Spolom, 2003, 320 p.
61. *Nazarenko L.D., Ostryk V.I.* Izhib pryamouhol'noy plastinki s tonkim krivolineynym vklyucheniem. *Dinamika i prochnost' mashin, Khar'kov*, 1988, Vyp. 44, P. 19–24.
62. *Kukhars'kyy V., Kukhars'ka N., Savula Ya., Mandzak T.* Fyzyko-matematychne modelyuvannya protsesiv teplomasoperenesennya v seredovyshchakh iz vklyuchennyym tonkymy sharamy. *Visn. Ternopil's'koho derzh. tekhn. un-tu*, 2006 – 11, No. 3, P. 145–152.
63. *Sarkysyan V.S.* Kontaktnye zadachi dlia poluploskostey s upruhimi nakladkami, Erevan: Izd-vo Erevan. un-ta, 1983, 260 p.
64. *Movchan A.B., Nazarov S.A.* Asimptoticheskoe povedenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vblizi ostrykh vklyucheniyy. *Dokl. AN SSSR*, 1986, T. 290, No. 1, P. 48–51.
65. *Opanasovych V.K., Drahan M.S.* Antyploska deformatsiya tila z systemoyu tonkykh pruzhnykh vklyuchen'. *Visn. L'viv. un-tu. Ser. mekh.-mat*, 1984, Vyp. 22, P. 71–77.
66. *Panasyuk V.V., Andreykiv O.Ye.* Pruzhna rivnovaha neobmezhenoho tila z tonkym vklyuchennyam. *Dop. AN URSSR. Ser. A*, 1976, No. 7, P. 636–639.

67. *Podlubnyak A.P., Kunets Ya.I.* Osesimmetrichnoe kruchenie uprugo-ho poluprostranstva s uprugoy shayboy. Prikl. mekhanika, 1983, 19, No. 7, P. 66–70.
68. *Popov V.H., Moysenenok A.P.* Kонтсентратсиya napryazheniy vblizi otsoivsshehosya tonkoho uprugo-ho vkl'yucheniya pri vozdeystviy nestatsionarnoy volny prodol'noho sdviha. Teoret. i prikladnaya mekhanika, 2005, Vyp. 41, P. 184–192.
69. *Popov H.Ya.* Kонтсентратсиya upruihkh napryazheniy vozle shtampov, razrezov, tonkikh vkl'yucheniy i podkrepleniy. M.: Nauka, 1982, 344 p.
70. *Syas'kyy A.A., Syas'kyy V.A.* Napryazhennoe sostoyanie kusochno-odnorodnoy plastinki s uprugim vkl'yucheniem. Prikl. mekhanika, 1983, 19, No. 5, P. 94–99.
71. *Fyl'shtynskyy L.A.* Difraktsiya upruihkh voln na treshchinakh, otverstiyakh, vkl'yucheniyaх v izotropnoy srede. Izv. AN SSSR. Mekhanika tverdohо tela, 1991, No. 4, P. 119–127.
72. *Cherepanov H.P.* Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov, M.: Nauka, 1983, 296 p.
73. *Chobanyan K.S., Khachikyan A.S.* Ploskoe deformirovannoe sostoyanie uprugo-ho tela s tonkostennym hibkim vkl'yucheniem. Izv. AN ArmSSR. Mekhanika, 1967, T. 20, No. 6, P. 19–29.
74. *Gdoutos E.E.* Failure of a composite with a rigid fiber inclusion. Acta mech, 1981, 39, No. 3–4, P. 251–262.
75. *Sih G.C.* Plane extension of rigidly embedded line inclusions. Developments in mechanics, vol.3, Pt.1. Solid Mech. and Mater. New York-Wiley, 1965, P. 61–79.
76. *Belytschko T., Xiao S.P.* Coupling methods for continuum model with molecular model. Int. J. for Multiscale Computational Engineering, 2003, 1(1), P. 115–126.
77. *Badia S., Parks M., Bochev P., Gunzburger M., Lehoucq R.* On atomistic-to-continuum coupling by blending. Multiscale Model. Simul, 2008, 7, No. 1, P. 381–406.
78. *Andreykiv A.E.* Razrushenie kvazikhрупkikh tel s treshchinami pri slozhnom napryazhennom sostoyanii, K.: Nauk, dumka, 1992, 184 p.
79. *Nazarchuk Z.T., Stadnik T.M.* Dyfraktsiyna vzayemodiya trishchynopodibnykh defektiv. Fiz.-khim. mekhanika materialiv, 2008, 44, No. 4, P. 47–51.
80. *Osadchuk V., Kushnir P., Nykolshyn M.* Zalyshkovі napruzheniya v tsylindrychniy obolontsi z trishchynoyu. Mashynoznavstvo, 1998, No. 4/5, P. 40–43.
81. *Panasyyuk V.V., Savruk M.P., Datsyshin A.P.* Raspredelenie napryazheniy okolo treshchin v plastinakh i obolochkakh, K.: Nauk. dumka, 1976, 444 p.
82. *Savruk M.P.* Mekhanika razrusheniya i prochnost' materialov: Sprav. posobie: V 4 t. / Pod obshch. red. Panasyuka V.V. / T. 2. Koeffitsienty intensivnosti napryazheniy v telakh s treshchinami, K.: Nauk. dumka, 1988, 620 p.
83. *Savruk M.P., Zelenyak V.M.* Dvovymirni zadachi termopruzhnosti dlya kuskovo-odnorodnykh til z trishchynami, L'viv: RASTR, 2009, 212 p.
84. *Savruk M.P.* Dvumernye zadachi uprugosti dlya tel s treshchinami, K.: Nauk. dumka, 1981, 324 p.
85. *Cherepanov G.P.* Mekhanika khрупkogo razrusheniya, M.: Nauka, 1974, 640 p.
86. *Opanasovich V.K., Dragan M.S., Tisovskiy L.O.* Napryazheniya v ploskosti, soderzhashchey sistemu pryamolineynykh vkl'yucheniy. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1985, 21, № 6, P. 21–26.
87. *Sulim G.T.* Kонтсентратсиya napryazheniy vozle tonkostennykh lineynykh vkl'yucheniy. Prikl. mekhanika, 1981, 17, № 11, P. 82–89.
88. *Berezhnitskiy L.T., Denisyyuk I.T.* Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vblizi zhestkogo diskoobraznogo vkl'yucheniya v transtropnom tele. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1984, 1, P. 45–50.
89. *Bevezhnitskiy L.T., Denisyyuk I.T.* O raspredelenii napryazheniy i smeshcheniy vblizi zhestkogo diskoobraznogo vkl'yucheniya. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1984, 6, P. 105–106.

90. *Denysyuk I.T.* Pruzhna rivnovaha tila z nehladkym vkladyuchenniam, Luts'k: Red.-vydavnychyy viddil LDTU, 2004, 220 p.
91. *Selvadurai A.P.S.* An inclusion at a bi-material elastic interface. *Journal of Engineering Mathematics*, 2000, 37, No. 1–3, P. 155–170.
92. *Selvadurai A.P.S.* Mechanics of a rigid circular disc bonded to a cracked elastic half-space. *Int. J. of Solids and Structures*, 2002, 39, P. 6035–6053.
93. *Kanaun S.K., Levin V.M.* Self-Consistent Methods for Composites. Vol.1: Static Problems. Springer, 2008, 376 p.
94. *Panasyuk V.V., Stadnik M.M., Silovanyuk V.P.* Kонтсentratsiya napryazheniy v trekhmernykh telakh s tonkimi vkladyuchenyami, K.: Nauk. dumka, 1986, 216 p.
95. *Sylovanyuk V.P.* Ruynuvannya poperedn'no napruzhenykh i transversal'no-izotropnykh til iz defektamy, L'viv: NANU Fiz.-mekh. in-t im. H.V. Karpenka, 2000, 300 з.
96. *Bernar I.I., Opanasovich V.K.* Napryazhennoe sostoyanie plastinki s tonkostennym vkladyucheniem po duze okruzhnosti. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1983, 47, № 2, P. 249–256.
97. *Frenchko Yu.S., Tkach M.D.* Antiploskaya deformatsiya tela s tonkim dugoobraznym vkladyucheniem. *Fiz.-mekh. polya v deformiruemyykh sredakh*. K.: Nauk. dumka, 1978, P. 81–84.
98. *Sulym H., Pasternak Ya.* Rehulyaryzovana totozhnist' Comil'yany dlya zadach teoriiy pruzhnosti z tonkostinnymy strukturamy. *Visn. L'viv. un-tu. Ser. Prykladna matematika ta informatyka*, Vyp. 13, 2007, P. 142–150.
99. *Sulym H.T., Pasternak Ya.M.* Zastosuvannya metodu hranychnykh elementiv do analizu antyploskoyi deformatsiyi anizotropnykh til iz tonkostinnymy strukturamy. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2008, 51, No. 4, P. 136–144.
100. *Opanasovich V.K.* O dvukh podkhodakh k issledovaniyu antiploskoy deformatsii izotropnogo massiva s tonkim uprugim vkladyucheniem. *Prikl. matematika i mekhanika*, 1988, 52, Vyp. 1, P. 116–119.
101. *Vynnyts'ka L., Savula Ya.* Napruzhenno-deformovany stan pruzhnogo tila z tonkym vkladyuchenniam. *Fiz.-mat. modelyuvannya ta inf. tekhnolohiyi*, 2008, No. 7, P. 21–29.
102. *Leite L.G.S., Coda H.B., Venturini W.S.* Two-dimensional solids reinforced by thin bars using the boundary element method. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2003, 27, P. 193–201.
103. *Leite L.G.S., Venturini W.S.* Boundary element formulation for 2D solids with stiff and soft thin inclusions. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2005, 29, P. 257–267.
104. *Padron L.A., Aznarez J.J., Maeso O.* BEM–FEM coupling model for the dynamic analysis of piles and pile groups. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2007, 31, P. 473–484.
105. *Riederer K., Duenser C., Beer G.* Simulation of linear inclusions with the BEM. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2009, 33, P. 959–965.
106. *Saleh A.L., Aliabadi M.H.* Crack growth analysis in reinforced concrete using BEM. *J. Eng. Mech.*, 1998, 124, No. 9, P.949–958.
107. *Aliabadi M.H., Saleh A.L.* Fracture mechanics analysis of cracking in plain and reinforced concrete using the boundary element method. *Eng. Fract. Mech.*, 2002, 69, P. 267–280.
108. *Lekhnitskiy S.G.* Teoriya uprugosti anizotropnogo tela, M.: Nauka, 1977, 416 з.
109. *Pavlychko V.M., Sulim G.T.* Ploskaya zadacha dlya lineynykh vkladyuchenyi na granitse razdela anizotropnykh materialov, L'vov, 1987, 11 p, Red. zhurn. «Fiz.-khim. mekhanika materialov». Dep. v VINITI 15 yanv. 1987 g., № 330-V87.
110. *Sulym H.T., Shevchuk S.P.* Ploska zadacha dlya kuskovo-odnorodnogo anizotropnogo tila zi strichkovym pruzhnym vkladyuchenniam. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 1999, 35, No. 6, P. 7–16.
111. *Ting T.C.T.* Anisotropic elasticity: theory and applications. New York: Oxford University Press, 1996, 567 p.
112. *Pan E.* A general boundary element analysis of 2D linear elastic fracture mechanics. *Int. J. Fract.*, 1997, 88 – P. 41–59.

113. *Fan H., Keer L.M.* Two-dimensional line defects in anisotropic elastic solids. *Int. J. Fract.*, 1993, 62, P. 25–42.
114. *Burak Ya.Y.* Vybrani pratsi, L'viv: NUTsMMIPPM im. Ya.S.Pidstryhacha NAN Ukrainy. V-vo «Akhil», 2001, 352 p.
115. *Burak Ya.Y., Hachkevych O.R., Drobenko B.D.* Vyznachennya parametriv termomekhanichnoho stanu termochutlyvykh mahnitotverdykh feromahnitnykh til za umov diyi kvaziustalenykh elektromahnitnykh poliv. *Dop. NAN Ukrainy*, 2007, No. 8, P. 53–58.
116. *Burak Ya.I., Chekurin V.F.* Fiziko-mekhanicheskie polya v poluprovodnikakh. *Matematicheskie osnovy teorii*, K.: Nauk. dumka, 1987, 264 p.
117. *Gachkevich A.R.* Termomekhanika elektroprovodnykh tel pri vozdeystvii kvaziustanovivshikhsya elektromagnitnykh poley, K.: Nauk. dumka, 1992, 192 p.
118. *Parton V.Z., Kudryavtsev B.A.* Elektromagnitoupругost' p'zeolektricheskikh i elektroprovodnykh tel, M.: Nauka, 1988, 472 p.
119. *Podstrigach Ya.S., Burak Ya.I., Kondrat V.F.* Magnitotermoupругost' elektroprovodnykh tel, K.: Nauk. dumka, 1982, 296 p.
120. *Terlets'kyi R.F.* Modelyuvannya termomekhanichnoyi povedinky bahatokomponentnykh deformivnykh tverdykh til nyz'koyi elektroprovodnosti pry diyi elektromahnitnoho vyprominyuvannya. Ch.1. Balansovi spivvidnoshennya mekhaniky i druhyy zakon termodynamiky. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2002, 45, No. 2, P. 81–91.
121. *Terlets'kyi R.F.* Modelyuvannya termomekhanichnoyi povedinky bahatokomponentnykh deformivnykh tverdykh til nyz'koyi elektroprovodnosti pry diyi elektromahnitnoho vyprominyuvannya. Ch. 2. Statystychnyy opys chynnykiv diyi elektromahnitnoho polya na bahatokomponentni tila. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2002, 45, No. 3, P. 155–168.
122. *Hao T.H., Shen Z.Y.* A new electric boundary condition of electric fracture mechanics and its applications. *Eng. Fract. Mech.*, 1994, 47, P. 793–802.
123. *Zhao M.H., Wang H., Yang F., Liu T.* A magnetoelastoelectric medium with an elliptical cavity under combined mechanical–electric–magnetic loading. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2006, 45, P. 227–237.
124. *Denda M.* BEM analysis of semipermeable piezoelectric cracks. *Key Engng. Materials*, 2008, 383, P. 67–84.
125. *Mikhailov G.K., Parton V.Z.* Electromagnetoelasticity. New York: Hemisphere, 1990.
126. *Shindo Y., Ozawa E., Nowacki J.P.* Singular stress and electric fields of a cracked piezoelectric strip. *Int. J. Appl. Electromagn. Mater.*, 1990, 1, P. 77–87.
127. *Ang W.T., Athanasius L.* A boundary integral approach for plane analysis of electrically semi-permeable planar cracks in a piezoelectric solid. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2011, 35, P. 647–656.
128. *Kulikov A.A., Nazarov S.A.* Cracks in piezoelectric and electroconductive bodies. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, 2007, Vol. 1, No. 2, P. 201–216.
129. *Zhang T.Y., Zhao M.H., Tong P.* Fracture of piezoelectric ceramics. *Adv. Appl. Mech.*, 2002, 38, P. 147–289.
130. *Chen Y.H., Hasebe N.* Current understanding on fracture behaviors of ferroelectric/piezoelectric. *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, 2005, 16, P. 673–687.
131. *Park S.B., Sun C.T.* Fracture criteria for piezoelectric ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1995, 78, P. 1475–1480.
132. *Kaloerov S.A., Baeva A.I., Boronenko O.I.* Dvumernye zadachi elektro- i magnitoupругosti dlya mnogovyaznykh oblastey: Monografiya, Donetsk: OOO «Yugo-Vostok, Ltd», 2007, 268 p.
133. *Bardzokas D., Filshinsky M.L., Filshinsky L.A.* Mathematical methods in electro-magneto-elasticity. New York: Springer, 2007, 530 p.
134. *Qin Q.H.* Fracture Mechanics of Piezoelectric Materials. Boston: WIT Press, 2001.

135. *Govorukha V.B.* Chislenno-analiticheskoe issledovanie treshchiny v oblasti razdela dvukh p'ezoelektricheskikh materialov. *Visn. Dnipropetr. un-tu. Ser.: Mekhanika*, 2005, Vip. 9, T. 2, P. 27–34.
136. *Govorukha V.B.* O zone elektricheskogo predrazrusheniya v okrestnosti vershiny treshchiny v p'ezokeramicheskom materiale. *Visn. Donets. un-tu. Ser. A.: Prirodnichi nauki*, 2007, Vip. 2, P. 66–71.
137. *Govorukha V.B.* Ob elektromekhanicheskikh effektakh u vershiny treshchiny mezhdv dvumya p'ezokeramicheskimi materialami. *Teoret. i prikladnaya mekhanika*, 2007, Vyp. 43, S. 176–182.
138. *Govorukha V.B., Germann K.P., Loboda V.V.* Elektricheski pronitsaemaya treshchina s zonami kontakta mezhdv dvumya p'ezoelektricheskimi materialami. *Prikl. mekhanika*, 2008, 44, № 3, P. 66–74.
139. *Hovorukha V.B., Loboda V.V.* Analiz mizhfaznoyi trishchiny v p'yezokeramichnomu tili skinchennykh rozmiriv. *Visn. Kyiv. un-tu. Ser.: fiz.-mat. nauky*, 2008, Vyp. 4, P. 47–52.
140. *Hovorukha V.B., Loboda V.V.* Vplyv elektrichnoyi pronykhnosti mizhfaznoyi trishchiny na kharakterystyky elektromekhanichnoho polya v okoli yiyi vershyny. *Visn. L'viv. un-tu. Ser. mekh.-mat*, 2010, Vyp. 73, P. 44–55.
141. *Andreykiv O.Ye., Nazarchuk Z.T., Skal's'kyy V.R., Rudavs'kyy D.V., Serhiyenko O.M.* Koefitsiyenty intensyvnosti napruzhen', sprychynenykh mahnetnym polem u feromahnetnykh. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*, 2008, 44, No. 3, P. 130–132.
142. *Kulynych Ya.P., Nazarchuk Z.T.* Intehral'ni rivnyannya dlya elektromahnetnoho polya u providnomu tili z trishchynoyu. *Vidbir i obrob. informatsiyi: Mizhvid. zb. nauk. pr.*, 2005, Vyp. 23, P. 11–16.
143. *Pan E.* A BEM analysis of fracture mechanics in 2D anisotropic piezoelectric solids. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 1999, 23, P. 67–76.
144. *Rajapakse R.K.N.D., Xu X.-L.* Boundary element modelling of cracks in piezoelectric solids. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2001, 25, P. 771–781.
145. *Groh U., Kuna M.* Efficient boundary element analysis of cracks in 2D piezoelectric structures. *Int. J. Sol. Struct.*, 2005, 42, P. 2399–2416.
146. *Garcia-Sanchez F., Saez A., Dominguez J.* Anisotropic and piezoelectric materials fracture analysis by BEM. *Computers and Structures*, 2005, 83, P. 804–820.
147. *Liew K.M., Sun Y., Kitipornchai S.* Boundary element-free method for fracture analysis of 2-D anisotropic piezoelectric solids. *Int. J. Num. Meth. Eng.*, 2007, 69, P. 729–749.
148. *Sheng N., Sze K.Y.* Multi-region Trefftz boundary element method for fracture analysis in plane piezoelectricity. *Comput. Mech.*, 2006, 37, P. 381–393.
149. *Sanz J.A., Ariza M.P., Dominguez J.* Three-dimensional BEM for piezoelectric fracture analysis. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2005, 29, P. 586–596.
150. *Qin T., Yu Y.S., Noda N.A.* Finite-part integral and boundary element method to solve three-dimensional crack problems in piezoelectric materials. *Int. J. Solids Struct.*, 2007, 44, P. 4770–4783.
151. *Rungamornrat J., Mear M.E.* Analysis of fractures in 3D piezoelectric media by a weakly singular integral equation method. *Int. J. Fract.*, 2008, 151, P. 1–27.
152. *Qin Q.H.* Green's function and boundary elements of multifield materials. *Oxford: Elsevier*, 2007, 254 p.
153. *Yang J.* Special topics in the theory of piezoelectricity. *London: Springer*, 2009, 342 p.
154. *Podil'chuk Yu.N., Dashko O.G.* Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie uprugogo feromagnetika s ellipsoidal'nym vklyucheniem pri deystvii odnorodnogo magnitnogo polya. *Prikladnaya mekhanika*, 2003, 39, № 7, P. 64–74.
155. *Podil'chuk Yu.N.* Napryazhennoe sostoyanie feromagnetika s ellipticheskoy treshchinoy pri deystvii odnorodnogo magnitnogo polya. *Prikladnaya mekhanika*, 2001, 37, № 2, P. 78–88.

156. *Podil'chuk Yu.N.* Elektropругoe ravnovesie transversal'no-izotropnykh p'ezokeramicheskikh sred s polostyami, vkladyeniyami i treshchinami. *Prikladnaya mekhanika*, 1998, 34, № 10, P. 109–119.
157. *Babich I.Yu., Kirilyuk V.S.* Napryazhennoe sostoyanie elektropругogo prostranstva s proizvol'no orientirovannym trekhosnym ellipsoidal'nym vkladyeniem. *Priklad. mekhanika*, 2009, 45, № 4, P. 72–80.
158. *Pan E., Albrecht J.D., Zhang Y.* Elastic and piezoelectric fields in quantum wire semiconductor structures – A boundary integral equation analysis. *Phys. Stat. Sol. (b)*, 2007, 244, No. 6, 1925–1939.
159. *Han F., Pan E., Albrecht J.D.* Strain and piezoelectric fields in embedded quantum wire arrays. *Superlattices and Microstructures*, 2006, 40, P. 125–136.
160. *Pan E., Han F., Albrecht J.D.* Strain fields in InAs/GaAs quantum wire structures: Inclusion versus inhomogeneity. *J. Appl. Phys.*, 2005, 98, P. 013534.
161. *Ramsey J.J., Pan E., Chung P.W.* Modelling of strain fields in quantum wires with continuum methods and molecular statics. *J. Phys.: Condens. Matter*, 2008, 20, P. 485215–27.
162. *Grigolyuk E.L., Fil'shtinskiy L.A.* Regul'yarnye kusochno-odnorodnye struktury s defektami, M.: Fizmatgiz, 1994, 335 p.
163. *Xiao Z.M., Zhang H.X., Chen B.J.* Microcrack initiation at the tip of a semi-infinite rigid line inhomogeneity in piezoelectric solids. *International Journal of Engineering Science*, 2005, 43, No. 15–16, P. 1223–1233.
164. *Wu L., Du S.* A rigid line in a confocal elliptic piezoelectric inhomogeneity embedded in an infinite piezoelectric medium. *International Journal of Solids and Structures*, 2000, 37, No. 10, P. 1453–1469.
165. *Li X.-F.* Dynamic response of a piezoelectric material with a conducting rigid inclusion. *Meccanica*, 2000, 35, P. 383–392.
166. *Kirilyuk V.S.* O napryazhenom sostoyanii p'ezokeramicheskogo tela s ploskoy treshchinoy, raskryvaemoy zhestkim vkladyeniem. *Priklad. mekhanika*, 2008, 44, № 7, P. 47–60.
167. *Gao C.-F., Fan W.-X.* An interface inclusion between two dissimilar piezoelectric materials. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2001, 22, No. 1, P. 96–104.
168. *Chen B.J., Shu D.W., Xiao Z.M.* Electro-elastic interaction between a piezoelectric screw dislocation and collinear rigid lines. *International Journal of Engineering Science*, 2006, 44, P. 422–435.
169. *Huang Z., Kuang Z.-B.* Dislocation inside a piezoelectric media with an elliptic inhomogeneity. *Int. J. Solid. Struct.*, 2001, 38, P. 8459–8479.
170. *Sulym H., Rabosh R.* Antyploska zadacha dlya tonkoho pruzhnogo vkladyennya u pyezoelektrychnomu prostori. *Visn. L'viv. un-tu. Seriya mekh.-mat*, 2008, 69, P. 189–202.
171. *Sulym H.T., Kunets' Ya.I., Rabosh R.V.* Asymptotichnyy analiz dynamichnoyi vzayemodiyyi tonkoho pryamolinijnogo pyezoelektrychnogo vkladyennya z pruzhnym seredovyschem za pozdovzhn'oho zsvu. *Visn. Don. un-tu*, 2008, No. 1, P. 137–141.
172. *Rabosh R.V.* Dynamichna vzayemodiya pruzhnogo seredovyscha z tonkostinnyim kryvoliniynym p"yezoelektrychnym vkladyennyam pry pozdovzhnykh kolyvannyakh kompozyta. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2009, 52, No. 1, P. 101–106.
173. *Loboda V.V., Khodanen T.V.* Zadacha termoelektromahnitopruzhnosti dlya pyezoelektrychnoho/ pyezomahnitnoho bimaterialu z mizhfaznoyu trishchynoyu. *Mat. metody ta fiz.-mekh. polya*, 2008, 51, No. 3, P. 121–132.
174. *Feng W.J., Pan E., Wang X.* Dynamic fracture analysis of a penny-shaped crack in a magnetoelastic layer. *International Journal of Solids and Structures*, 2007, 44, P. 7955–7974.
175. *Li R., Kardomateas G.A.* The mixed mode I and II interface crack in piezoelectromagneto-elastic anisotropic bimaterials. *Journal of Applied Mechanics*, 2007, 74, P. 614–627.
176. *Sladek J., Sladek V., Wünsche M., Zhang Ch.* Analysis of an interface crack between two dissimilar piezoelectric solids. *Eng. Fract. Mech.*, 2012, 89, P. 114–127.

177. *Sladek J., Sladek V., Solek P., Pan E.* Fracture analysis of cracks in magneto-electro-elastic solids by the MLPG. Computational mechanics, 2008, 42, No. 5, P. 697–714.
178. *Tian W.Y., Gabbert U.* Multiple crack interaction problem in magneto-electroelastic solids. European Journal of Mechanics A/Solids, 2004, 23, P. 599–614.
179. *Tian W.Y., Gabbert U.* Macrocrack-microcrack interaction problem in magneto-electroelastic solids. Mechanics of Materials, 2005, 37, P. 565–592.
180. *Zhou Z.-G., Wang B., Sun Y.-G.* Two collinear interface cracks in magneto-electro-elastic composites. International Journal of Engineering Science, 2004, 42, P. 1155–1167.
181. *Zhu T., Yang W.* Crack kinking in a piezoelectric solid. International Journal of Solids and Structures, 1999, 36, P. 5013–5027.
182. *Dong C.Y., Lo S.H., Antes H.* Fracture analysis in 2D magneto-electro-elastic media by the boundary element method. Comput. Mech., 2008, 41, P. 207–217.
183. *Garcia-Sanchez F., Rojas-Diaz R., Saez A., Zhang Ch.* Fracture of magneto-electroelastic composite materials using boundary element method (BEM). Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2007, 47, P. 192–204.
184. *Rojas-Diaz R., Garcia-Sanchez F., Saez A.* Analysis of cracked magneto-electroelastic composites under time-harmonic loading. International Journal of Solids and Structures, 2010, 47, P. 71–80.
185. *Zhu X., Huang Z., Jiang A., Chen W.Q., Nishimura N.* Fast multipole boundary element analysis for 2D problems of magneto-electro-elastic media. Eng. Anal. Bound. Elem., 2010, 34, P. 927–933.
186. *Li J.Y.* Magneto-electric Green's functions and their application to the inclusion and inhomogeneity problems. Int. J. Sol. Struct., 2002, 39, P. 4201–4213.
187. *Hou P.-F., Leung A.Y.T.* A spheroidal inclusion in an infinite magneto-electro-elastic material. Int. J. Engng. Science, 2004, 42, P. 1255–1273.
188. *Midgley P.A., Dunin-Borkowski R.E.* Electron tomography and holography in materials science. Nature Materials, 2009, 8, P. 271–280.
189. *Lang S.B.* Pyroelectricity: from ancient curiosity to modern imaging tools. Physics Today, August 2005, P. 31–36.
190. *Kit G.S., Krivtsun M.G.* Ploskie zadachi termouprugosti dlya tel s treshchinami, K.: Nauk. dumka, 1983, 280 p.
191. *Kit H.S., Sushko O.P.* Statsionarne temperaturne pole u pivbezmezchnomu tili z teploaktivnym abo teploizol'ovanim diskovym vlyuchennyam. Fiz.–mat. modelyuvannya ta informatsiyni tekhnolohiyi, 2011, Vyp. 13, P. 67–80.
192. *Kit H.S., Sushko O.P.* Vplyv dzhherela tepla na napruzheny stan tila z teploizol'ovanoyu kruhovoyu trishchynoyu. Prykl. problemy mekh. i mat, 2011, Vyp. 9, P. 11–121.
193. *Kit H.S., Chernyak M.S.* Napruzheny stan tila z teplovydil'nymy sferychnymy vlyuchennyamy. Mat. metody ta fiz.-mekh. polya, 2011, 54, No. 4, P. 82–89.
194. *Kit H.S., Chernyak M.S.* Napruzheny stan til z termichnymy tsylindrychnymy vlyuchennyamy ta trishchynamy (ploska deformatsiya). Fiz.-khim. mekhanika materialiv, 2010, 46, No. 3, P. 30–37.
195. *Piskozub Y.Z., Sulym H.T.* Asymptotyka napruzhen' v okoli kintsiv tonkoho mizhfaznoho vkraplennya. Fiz.-khim. mekhanika materialiv, 1996, 32, No. 4, P. 39–48.
196. *Sulim G.T., Piskozub J.Z.* Thermoelastic equilibrium of piecewise homogeneous solids with thin inclusions. Journal of Engineering Mathematics, 2008, 61, P. 315–337.
197. *Dobryak D.A.* Periodicheskaya zadacha termouprugosti dlya plastinki s uprugimi vlyuchenyami. Visn. Donets. un-tu. Ser. A: Prirodn. nauk, 2008, Vip. 1, P. 98–105.
198. *Karnaukhov V.G., Mikhaylenko V.V.* Nelineynaya termomekhanika p'ezoelektricheskikh neuprugikh tel pri monogarmonicheskoy nagruzhenni, Zhitomir: Izd-vo ZhTTU, 2005, 428 p.
199. *Kirichok I.F.* Vynuzhdennyye monogarmonicheskyye kolebaniya i vibrorazogrev vyazkouprugikh gibkikh kruglykh plastinok s p'ezosloyami. Priklad. mekhanika, 2013, 49, № 6, P. 100–112.

200. *Lu P., Tan M.J., Liew K.M.* Piezothermoelastic analysis of a piezoelectric material with an elliptic cavity under uniform heat flow. *Archive of Applied Mechanics*, 1998, 68, P. 719–733.
201. *Liu Jinxu, Zhang Xiaosong, Liu Xianglin, Zheng Jian.* Anisotropic thermopiezoelectric solids with an elliptic inclusion or a hole under uniform heat flow. *Acta Mechanica Sinica*, 2000, Vol. 16, No. 2, P. 148–163.
202. *Kirilyuk V.S.* Termonapryazhennoe sostoyanie p'ezokeramicheskogo tela s ploskoy treshchinoy pri simmetrichnom teplovom potoke s eye poverkhnostey. *Prikladnaya mekhanika*, 2010, 46, № 7, P. 23–33.
203. *Gao C.-F., Wang M.-Z.* Collinear permeable cracks in thermopiezoelectric materials. *Mechanics of Materials*, 2001, 33, P. 1–9.
204. *Gao C.-F., Kessler H., Balke H.* Fracture analysis of electromagnetic thermoelastic solids. *European Journal of Mechanics A/Solids*, 2003, 22, P. 433–442.
205. *Kaloerov S.A., Khoroshev K.G.* Termoelektrouprugoe sostoyanie mnogosvyaznoy anizotropnoy plastinki. *Prikladnaya mekhanika*, 2005, T. 41, № 11, P. 116–126.
206. *Kaloerov S.A., Khoroshev K.G.* Termoelektrouprugoe sostoyanie anizotropnoy plastinki s otverstiyami i treshchinami. *Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika*, 2005, Vyp. 41, P. 124–133.
207. *Kaloerov S.A., Sorochan O.A.* Dvumernye zadachi termoelektromagnitoupругosti dlya mnogosvyaznykh sred. *Teoret. i prikl. mekh*, 2008, Vyp. 44, P. 61–79.
208. *Kaloerov S.A., Dobryak D.A.* Termoelektromagnitouprugoe sostoyanie mnogosvyaznoy anizotropnoy poluploskosti. *Teoret. i prikl. mekh*, 2010, Vyp. 1(47), P. 45–61.
209. *Qin Q.H.* Green's function for thermopiezoelectric plates with holes of various shapes. *Archive of Applied Mechanics*, 1999, 69, P. 406–418.
210. *Qin Q.H.* 2D Green's functions of defective magnetoelastic solids under thermal loading. *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 2005, 29, No. 6, P. 577–585.
211. *Hou P.F.* 2D fundamental solution for orthotropic pyroelectric media. *Acta Mech.*, 2009, 206, P. 225–235.
212. *Prasad N.N.V., Aliabadi M.H., Rooke D.P.* The dual boundary element method for thermoelastic crack problems. *Int. J. Fract.*, 1994, 66, P. 255–272.
213. *Mohammadi M., Hematiyan M.R., Aliabadi M.H.* Boundary element analysis of thermoelastic problems with non-uniform heat sources. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 2010, 45, P. 605–627.
214. *Mukherjee Y.X., Shah K., Mukherjee S.* Thermoelastic fracture mechanics with regularized hypersingular boundary integral equations. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 1999, 23, P. 89–96.
215. *Koshelev V., Ghassemi A.* Complex variable BEM for thermo- and poroelasticity. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2004, 28, P. 825–832.
216. *Tokovyy Y., Ma C.-C.* An explicit-form solution to the plane elasticity and thermoelasticity problems for anisotropic and inhomogeneous solids. *Int. J. Sol. Struct.*, 2009, 46, No. 21, P. 3850–3859.
217. *Deb A., Banerjee P.K.* BEM for general anisotropic 2D elasticity using particular integrals. *Commun. Appl. Num. Meth.*, 1990, 6, P. 111–119.
218. *Deb A., Henry D.P. Jr., Wilson E.B.* Alternate BEM formulation for 2D and 3D anisotropic thermoelasticity. *Int. J. Solids Struct.*, 1991, 27, P. 1721–1738.
219. *Shiah Y.C., Tan C.L.* Exact boundary integral transformation of the thermoelastic domain integral in BEM for general 2D anisotropic elasticity. *Computational Mechanics*, 1999, 23, P. 87–96.
220. *Shiah Y.C., Guao T.L., Tan C.L.* Two-dimensional BEM thermoelastic analysis of anisotropic media with concentrated heat sources. *CMES*, 2005, Vol. 7, No. 3, P. 321–338.
221. *Shiah Y.C., Tan C.L.* Fracture mechanics analysis in 2-D anisotropic thermoelasticity using BEM. *CMES*, 2000, Vol. 1, No. 3, P. 91–99.



222. *Ang W.T., Clements D.L.* Hypersingular integral equations for a thermoelastic problem of multiple planar cracks in an anisotropic medium. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 1999, 23, No. 9, P. 713–720.
223. *Qin Q.H.* Fracture analysis of cracked thermopiezoelectric materials by BEM. *Electronic Journal of Boundary Elements*, 2003, Vol. 1, No. 2, P. 283–301.
224. *Qin Q.H., Lu M.* BEM for crack-inclusion problems of plane thermopiezoelectric solids. *Int. J. Numer. Meth. Eng.*, 2000, 48, P. 1071–1088.
225. *Qin Q.H., Mai Y.W.* BEM for crack-hole problems in thermopiezoelectric materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 2002, 69(5), P. 577–588.
226. *Sladek J., Sladek V., Solek P., Zhang Ch.* Fracture analysis in continuously nonhomogeneous magneto-electro-elastic solids under a thermal load by the MLPG. *International Journal of Solids and Structures*, 2010, 47, P. 1381–1391.
227. *Hsieh M.C., Hwu C.* Hygrothermal stresses in unsymmetric laminates disturbed by elliptical holes. *J. Appl. Mech.*, 2006, 73, P. 228–239.
228. *Hayvas' B.* Model' formostiystki porystoyi plastyny v protsesi pryrodnoho osushennya. *Fiz.-mat. model. ta inform. tekhn.*, 2010, Vyp. 11, P. 56-65.
229. *Pobereyko B.P.* Vplyv temperatury na mitsnist' derevyny u pruzhnyi oblasti deformuvannya. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy: zb. nauk.-tekhn. prats', L'viv: NLTU Ukrainy*, 2007, Vyp. 17.2, P. 61–66.
230. *Tadeu A., Simoes N., Branco F.* Steady-state moisture diffusion in curved walls, in the absence of condensate flow, via the BEM: a practical Civil Engineering approach (Glaser method). *Building and Environment*, 2003, 38, P. 677–688.
231. *Lin'kov A.M.* Kompleksnyy metod granichnykh integral'nykh uravneniy teorii uprugosti, SPb.: Nauka, 1999, 382 p.
232. *Fil'shtinskiy L.A.* Dvoyakoperiodicheskaya zadacha teorii uprugosti dlya anizotropnoy sredy s krivolineynymi razrezami. *Izv. AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 1977, № 6, P. 116–124.
233. *Choi H.J.* A periodic array of cracks in a functionally graded nonhomogeneous medium loaded under in-plane normal and shear. *Int. J. Fract.*, 1997, 88, P. 107–128.
234. *Bozhydarnik V.V., Maksymovych O.V.* Pruzhna ta hranychna rivnovaha anizotropnykh plastynok z otvoramy i trishchynamy, Luts'k: LDTU, 2003, 228 p.
235. *Chen Y.Z.* Periodic rigid line problem in an infinite plate. *Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv)*, 1993, 63, No. 7, P. 464–471.
236. *Grilit'skiy D.V., Sulim G.T.* Periodicheskaya zadacha dlya uprugoy ploskosti s tonkostennymi vkluyucheniyami. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1975, 39, № 3, P. 520–529.
237. *Martynyak R.M., Sulim G.T.* Periodicheskaya zadacha dlya sistemy lineynykh komplannarykh vkluyucheniy v izotropnoy ploskosti. *Mat. metody i fiz.-mekh. polya*, Kiev: Nauk. dumka, 1982, Vyp. 15, P. 113–117.
238. *Opanasovich V.K., Dragan M.S.* Periodicheskaya sistema parallel'nykh tonkikh uprugikh vkluyucheniy v ploskosti. *Vestn. L'vov. un-ta. Ser. mekh.-mat*, 1985, Vyp. 23, P. 83–89.
239. *Kosmodamianskiy A.S.* Napryazhennoe sostoyanie anizotropnykh sred s otverstiyami ili polostyami, K.: Vishcha shkola, 1976, 200 p.
240. *Clouteau D., Elhabre M.L., Aubry D.* Periodic BEM and FEM-BEM coupling. *Comp. Mech.*, 2000, 25, No. 6, P. 567–577.
241. *Kovalenko Yu.F., Salganik R.L.* Treshchinovidnye neodnorodnosti i ikh vliyanie na effektivnye mekhanicheskie kharakteristiki. *Izv. AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 1977, № 5, P. 76–86.
242. *Wang J., Fang J., Karihaloo B.L.* Asymptotic of multiple crack interactions and prediction of effective modulus. *Int. J. Sol. Struct.*, 2000, 37, P. 4261–4273.
243. *Wang G.S.* The interaction of doubly periodic cracks. *Theor. Appl. Fract. Mech.*, 2004, 42, P. 249–294.

244. *Dong C.Y., Lee K.Y.* Numerical analysis of doubly periodic array of cracks/rigid-line inclusions in an infinite isotropic medium using the boundary integral equation method. *Int. J. Fract.*, 2005, 133, P. 389–405.
245. *Maksymovych O.V.* Dvoperiodychni zadachi teoriiy pruzhnosti dlya anizotropnykh plastynok iz trishchynamy. *Naukovi notatky*, 2011, Vyp. 33, P. 136–143.
246. *Xiao J., Jiang C.* Exact solution for orthotropic materials weakened by doubly periodic cracks of unequal size under antiplane shear. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 2009, Vol. 22, No. 1, P. 53–63.
247. *Malits P.* Doubly periodic array of thin rigid inclusions in an elastic solid. *Q. J. Mech. Appl. Math.*, 2010, Vol. 63, No. 2, P. 115–144.
248. *Opanasovich V., Porochovsky V., Delyavsky M.* Antiplane deformation of isotropic body with a periodic system of thin rectilinear inclusions. *J. Theor. Appl. Mech.*, 1999, 37, No. 1, P. 65–79.
249. *Fil'shtinskiy L.A., Dolgikh V.N.* Model' anizotropnoy sredy, armirovannoy tonkimi lentami. *Prikl. mekhanika*, 1979, T. 15, № 4, P. 24–30.
250. *Li J.Y.* Magnetoelastostatic multi-inclusion and inhomogeneity problems and their applications in composite materials. *International Journal of Engineering Science*, 2000, 38, P. 1993–2011.
251. *Liu Y.* A new fast multipole boundary element method for solving large-scale two-dimensional elastostatic problems. *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 2006, 65, P. 863–881.
252. *Mykhas'kiv V.V., Khay O.M., Zhang Ch., Bostrom A.* Effective dynamic properties of 3D composite materials containing rigid penny-shaped inclusions. *Waves in Random and Complex Media*, 2010, 20, No. 3, P. 491–510.
253. *Leshchenko P.V., Maslov B.P.* Effektivnye postoyannye p'ezoaktivnykh kompozitov stokhasticheskoy struktury. *Prikladnaya mekhanika*, 1987, 23, № 3, P. 71–77.
254. *Maslov B.P., Leshchenko P.V.* Prognozirovaniye effektivnykh svoystv p'ezomagnitnoy keramiki, uprochnennoy diskretnymi voloknami. *Prikladnaya mekhanika*, 1981, 17, № 8, P. 114–118.
255. *Khoroshun L.P., Dorodnykh T.I.* Zadacha ob effektivnykh svoystvakh stokhasticheskikh p'ezomagnitnykh kompozitnykh materialov. *Teoret. i prikladnaya mekhanika*, 2001, Vyp. 32, P. 3–16.
256. *Khoroshun L.P., Maslov B.P., Leshchenko P.V.* Prognozirovaniye effektivnykh p'ezoaktivnykh kompozitnykh materialov, K.: Nauk. dumka, 1989, 208 p.
257. *Khoroshun L.P., Maslov B.P., Shikula E.N., Nazarenko L.V.* Statisticheskaya mekhanika i effektivnye svoystva materialov, K.: Nauk. dumka, 1993, 390 p.
258. *Shul'ga N.A.* Effektivnye magnitoupругie svoystva sloistykh kompozitov. *Prikladnaya mekhanika*, 2006, 42, № 8, P. 36–43.
259. *Shul'ga N.A.* Effektivnye fiziko-mekhanicheskie svoystva melkosloistykh p'ezoelektricheskikh i p'ezomagnitnykh materialov. *Soprotivlenie materialov i teoriya sooruzheniy*, 1986, Vyp. 48, P. 43–45.
260. *Liu Y.J., Chen X.L.* Continuum models of carbon nanotube-based composites using the boundary element method. *Electronic Journal of Boundary Elements*, 2003, Vol. 1, No. 2, P. 316–335.
261. *Dong C.Y.* Effective elastic properties of doubly periodic array of inclusions of various shapes by the boundary element method. *Int. J. Sol. Struct.*, 2006, 43, P. 7919–7938.
262. *Lin'kov A.M., Koshelev V.F.* Complex variables BIE and BEM for a plane doubly periodic system of flaws. *J. Chinese Institute of Engineers*, 1999, Vol. 22, No. 6, P. 709–720.
263. *Chen Y.Z., Hasebe N., Lee K.Y.* Multiple crack problems in elasticity. *Southampton: WIT*, 2003, 356 p.
264. *Xiao J.H., Xu Y.L., Jiang C.P.* Exact solution to the antiplane problem of doubly periodic conducting rigid line inclusions of unequal size in piezoelectric materials. *Z. Angew. Math. Mech.*, 2011, 91, No. 5, P. 413–424.

265. *Osiv O.P., Sulym H.T.* Antyploska deformatsiya izotropnoho seredovyscha zi zluchenyymi pruzhnymy strichkovyymi vklyuchennyamy. *Mekhanika i fizyka ruynuvannya budivel'nykh materialiv ta konstruktсий*, 2002, Vyp. 5, P. 154–164.
266. *Osiv O., Sulym G.* Antiplane deformation of isotropic medium with connected elastic ribbon-like inclusions. Abstracts of the Fourth Polish-Ukrainian Conference “Current Problems in Mechanics of Nonhomogeneous Media” (Łódź, 4–8 Sept., 2001), Łódź: Technol. Univ. of Łódź, 2001, P. 46.
267. *Shats'kyy I.P., Kundrat A.M.* Antyploska deformatsiya pruzhnoho prostoru zi zv'yazanymy zhorstkymy strichkovyymi vklyuchennyamy. *Dop. NAN Ukrayiny*, 2004, No. 11, P. 55–60.
268. *Kundrat A.M.* Antyploska zadacha dlya pruzhnoho prostoru iz zhorstkym tonkostinnyym kutnykom. *Naukovi notatky*, 2007, Vyp. 20, T. 1, Luts'kyy natsional'nyy tekhnichnyy universytet, P. 245–249.
269. *Kundrat A.M.* Izotropne tilo armovane fasonnyymi profilyamy tavra ta kutnyka v umovakh pozdovzhn'oho zsvuu. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya*, 2009, 46, vyp. 2, P. 173–178.
270. *Antipov Yu.A., Popov G.Ya., Yatsko S.I.* Reshenie zadach o kontsentratsii napryazheniy vozle peresekayushchikhsya defektov pri pomoshchi zadachi Rimana s beskonечnym indeksom. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1987, 51, № 3, P. 458–467.
271. *Popov V.G.* Dinamicheskaya zadacha teorii uprugosti dlya ploskosti, sodержashchey zhestkoe krestoobraznoe vklyuchenie. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1993, 57, № 1, P. 100–115.
272. *Grigoryan E.Kh., Torosyan D.R., Shaginyan S.S.* Zadacha dlya uprugoy ploskosti, sodержashchey krestoobraznoe vklyuchenie. *Izvestiya NAN Armenii. Mekhanika*, 2002, 55, № 1, P. 6–16.
273. *Zheng S.F., Denda M., Weng G.J.* Interfacial partial debonding and its influence on the elasticity of a two-phase composite. *Mechanics of Materials*, 2000, 32, P. 695–709.
274. *Tvergaard V.* Debonding of short fibres among particulates in a metal matrix composite. *Int. J. Sol. Struct.*, 2003, 40, P. 6957–6967.
275. *Chaudhuri R.A.* Three-dimensional singular stress field near a partially debonded cylindrical rigid fiber. *Composite Structures*, 2006, 72, P. 141–150.
276. *Il'ina I.I., Sil'vestrov V.V.* Zadacha o tonkom zhestkom mezhfaznom vklyuchenii, otsloivshemsya vdol' odnoy storony ot sredy. *Izv. RAN. Mekh. tverdogo tela*, 2005, № 3, P. 153–166.
277. *Il'ina I.I., Sil'vestrov V.V.* Chastichno otsloivsheesya tonkoe zhestkoe vklyuchenie mezhdu raznymi uprugimi materialami pri nalichii treniya v zone kontakta. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya*, 2007, № 4 (54), P. 124–139.
278. *Russakova I.I.* Ploskost' s vklyucheniem, otsloivshemsya vdol' odnoy storony ot sredy, pod deystviem razlichnykh nagruzok pri nalichii treniya. *Trudy Vseross. nauch. konf. (26–28 maya 2004 g.). Chast' 1, Mat. model. mekh., prochn. i nadezhn. konstruktсий, Mat. model. i kraev. zadachi*, SamGTU, Samara, 2004, P. 191–194.
279. *Yardukhin A.K.* Analiticheskoe reshenie zadachi vzaimodeystviya mezhfaznoy treshchiny s otsloivshimsya mezhfaznym vklyucheniem pri nalichii sosredotochennykh sil. *Vestn. Sam. gos. tekhn. un-ta. Ser. Fiz.-mat. nauki*, Samara, 2003, 19, P. 107–110.
280. *Moyseenok A.P., Popov V.G.* Nestatsionarnaya zadacha o kontsentratsii uprugikh napryazheniy vblizi tonkogo zhestkogo otsloivshegosya vklyucheniya nakhodyashchegosya v usloviyakh ploskoy deformatsii. *Visn. Dnpr. un-tu*, 2007, №2/2, Seriya MEKHANIKA, Vip. 11, T. 2, P. 130–140.
281. *Moraru G.* Concentration of stresses near a debonded flexible inclusion in plane elasticity. *Rev. Roum. Sci. Techn., Méc. Appl.*, Bucarest, 2008, TOME 53, No. 2, P. 175–182.
282. *Syas'kyy A.O., Batyshkina Yu.V.* Chastkove symetrychne pidsylennya kryvoliniynoho otvoru v neskinchenniy plastynsi. *Visnyk TDTU*, 2004, T. 9, No. 2, P. 5–12.

283. Syas'kyy A.O., Shevtsova N.V. Pruzhna rivnovaha plastynky z kryvoliniynym konturom, chastkovo pidsylenym systemoyu tr'okh nesymetrychnykh reber. Visnyk TDTU, 2008, T. 13, No. 1, P. 13–19.
284. Syas'kyy A.O., Trokhymchuk O.Ya. Mishana kontaktna zadacha dlya plastynky z kryvoliniynym otvorum i systemy shtampiv z kutovymy tochkamy. Visnyk NTUU «KPI». Ser. «Mashynobuduvannya», K., 2010, No. 58, P. 36–41.
285. Bozhydarnyk V.V. Dvovymirni zadachi pruzhnosti y termopruzhnosti strukturno-neodnorodnykh til. L'viv: Svit, 1998, 352 p.
286. Savin G.N. Kontsentratsiya napryazheniy okolo otverstiy. M.: Gos. izd-vo tekhn.-teor. l-ry, 1951, 496 p.
287. Savin G.N., Fleyshman N.P. Plastinki i obolochki s rebrami zhestkosti. K.: Nauk. dumka, 1964, 384 p.
288. Savin G.N., Tul'chiy V.I. Plastinki, podkreplennye sostavnymi kol'tsami i uprugimi nakladkami. K.: Nauk. dumka, 1971, 268 p.
289. Savin G.N. Raspreделение napryazheniy okolo otverstiy. K.: Nauk. dumka, 1968, 888 p.
290. Sheremet'ev M.P. Plastinki s podkreplennym kraem. L'vov: Izd-vo L'vov. un-ta, 1960, 258 p.
291. Kaloerov S.A., Dobryak D.A. Termouprugoe sostoyanie anizotropnoy plastinki s uprugimi kol'tsami. Teoret. i prikl. mekh, 2009, Vyp. 46, P. 155–168.
292. Nazarchuk Z.T. Modelyuvannya rozsiyannya elektromahnetnykh khvyly' tonkym dielektrychnym pokryvom na tsylindri. Fiz.-khim. mekhanika materialiv, 2006, 42, No. 1, P. 96–104.
293. Benedetti I., Aliabadi M.H., Milazzo A. A fast BEM for the analysis of damaged structures with bonded piezoelectric sensors. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 2010, 199, P. 490–501.
294. Berezhnitskiy L.T., Gromyak R.S., Trush I.I. O postroenii diagramm lokal'nogo razrusheniya dlya khрупkikh tel s ostrokonechnymi zhestkimi vkladyucheniyami. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1975, 11, № 5, P. 40–47.
295. Berezhnitskiy L.T., Panasyuk V.V., Trush I.I. O lokal'nom razrushenii khрупkogo tela s ostrokonechnymi zhestkimi vkladyucheniyami. Probl. prochnosti, 1973, № 10, P. 8–11.
296. Gdoutos E.E. Fracture mechanics. Dordrecht: Springer, 2005, 369 p.
297. Mechanics of Fracture / ed. G.C. Sih. Leyden: Noordhoff, 1973, 517 p.
298. Popina S.Yu., Sulim G.T. Predel'naya nagruzka dlya khрупkogo tela s tonkostennym uprugim vkladyucheniem. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1987, 23, № 2, P. 115–118.
299. Kundrat N.M. Otsloenie vkladyucheniya v ortotropnoy kompozitsii. Prikl. mekhanika, 2000, 36, № 9, P. 123–128.
300. Dal Corso F., Bigoni D., Gei M. The stress concentration near a rigid line inclusion in a prestressed, elastic material. Part I Full-field solution and asymptotics. J. Mech. Phys. Sol., 2008, 56, No. 3, P. 815–838.
301. Dal Corso F., Bigoni D., Gei M. The stress concentration near a rigid line inclusion in a prestressed, elastic material. Part II Implications on shear band nucleation, growth and energy release rate. J. Mech. Phys. Sol., 2008, 56, No. 3, P. 839–857.
302. Stadnik M.M., Andreykiv A.E. Prochnost' materialov, sodержashchikh sistemy tonkikh vkladyucheniy. Fiz.-khim. mekhanika materialov, 1986, 22, № 1, P. 29–35.
303. Sylovanyuk V.P., Yukhym R.Ya. Deformatsiya ta ruynuvannya materialiv bilya vkladyuchen' pid statychnym navantazhennyam tila. Fiz.-khim. mekhanika materialiv, 2007, 43, No. 6, 3. 31–35.
304. Sulim G.T. Primenenie formuly Somil'yana v zadachakh teorii uprugosti dlya tel s tonkostennymi vkladyucheniyami. Mat. metody i fiz.-mekh. polya. Kiev: Nauk. dumka, 1983, Vyp. 18, P. 48–51.
305. Pasternak Ia. Coupled 2D electric and mechanical fields in piezoelectric solids containing cracks and thin inhomogeneities. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2011, 35, No. 4, P. 678–690.

306. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T.* Solution of the problems of antiplane deformation of bodies with thin ribbonlike inclusions by the methods of integral equations. I. General relations . *Materials Science*, 2011, 47, No. 1, P. 36–44.
307. *Pasternak Ia.M., Sulym H.T.* Dual boundary element method for problems of the theory of thin inclusions . *J. Math. Sci*, 2011, 178, No. 4, P. 421–434.
308. *Pasternak Ia.* Doubly periodic arrays of cracks and thin inhomogeneities in an infinite magnetoelastic medium . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2012, 36, No. 5, P. 799–811.
309. *Pasternak Ia.* Boundary integral equations and the boundary element method for fracture mechanics analysis in 2D anisotropic thermoelasticity . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2012, 36, No. 12, P. 1931–1941.
310. *Pasternak Ia.M.* Plane problem of elasticity for anisotropic bodies with thin elastic inclusions . *J. Math. Sci*, 2012, 186, No. 1, P. 31–47.
311. *Pasternak Ia., Sulym H.* Stroh formalism based boundary integral equations for 2D magnetoelasticity . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2013, 37, No. 1, P. 167–175.
312. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* A comprehensive study on the 2D boundary element method for anisotropic thermoelastic solids with cracks and thin inhomogeneities . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2013, 37, No. 2, P. 419–433.
313. *Pasternak Ia., Sulym H.* Stress state of solids containing thin elastic crooked inclusions . *J. Eng. Math*, 2013, 78, P. 167–180.
314. *Pasternak Ia.M., Vasil'ev K.V., Sulym H.T.* Antiplane deformation by concentrated factors of bounded bodies with cracks and rigid inclusions . *J. Math. Sci*, 2013, 190, No. 5, P. 710–724.
315. *Pasternak Ia.M., Sulym H.T.* Coupled 2D electric, magnetic, and mechanical fields in dielectrics with cracks and thin inclusions . *J. Math. Sci*, 2013, 192, No. 5, P. 565–582.
316. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T.* Solution of the problems of antiplane deformation of bodies with thin ribbonlike inclusions by the methods of integral equations. II. Analysis of the stress concentration and stress intensity . *Materials Science*, 2013, 48, No. 6, P. 788–794.
317. *Sulym H., Pasternak Ia., Kutsyk S., Grodzki W.* Doubly periodic sets of thin branched inclusions in the elastic medium: stress concentration and effective properties . *Acta mechanica et automatica*, 2013, Vol. 7, No. 1, P. 48–52.
318. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Boundary integral equations for 2D thermoelasticity of a half-space with cracks and thin inclusions . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2013, 37, No. 11, P. 1514–1523.
319. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Temperature field and heat flux that do not induce stress and electric displacement in a free thermoelastic anisotropic solid . *Mechanics Research Communications*, 2014, 57, P. 40–43.
320. *Pasternak Ya.M., Sulim G.T.* Plane problem of elasticity for an anisotropic body with doubly periodic systems of thin inhomogeneities . *Mechanics of Solids*, 2014, Vol. 49, No. 2, P. 162–174.
321. *Pasternak I.M., Sulym H.T., Oliyarnyk N.R.* Antiplane deformation of anisotropic bodies with periodic systems of thin inhomogeneities . *Materials Science*, 2014, Vol. 49, No. 5, P. 602–611.
322. *Pasternak Ia., Pasternak R., Sulym H.* Boundary integral equations and Green's functions for 2D thermoelastic bimaterial . *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2014, 48, P. 87–101.
323. *Pasternak Ya.M., Sulym H.T., Pasternak R.M.* Generalized Somigliana identity for thermomagnetoelastic anisotropic bodies . *J. Math. Sci*, 2015, 205, No. 5, P. 677–690.

*Pasternak Ia.M., Sulym H.T., Pasternak R.M.*

**STUDIES ON STRESS STATE OF SOLIDS MADE OF FUNCTIONAL STRUCTURALLY INHOMOGENEOUS MATERIALS: A REVIEW OF PUBLICATIONS TILL 2010**

The paper presents a review on the recent advances in the theoretical and experimental studies of functional (smart) materials and structures. Particular attention is paid to piezoelectric and magnetoelastoelectric materials, which internally couple mechanical, electric and magnetic fields and can operate as sensors or actuators. Modern smart magnetoelastoelectric materials consisting of piezoelectric and piezomagnetic phases are widely used due to the effect of electromagnetic coupling, which is hundred or even thousand times larger than that of a single crystal magnetoelastoelectric materials. The highest electromagnetic coupling due to the regular arrangement of phases is possessed by ferrite-piezoelectric nanostructures, in particular self-assembled nanocomposite thin films. Ferroelectric materials are widely used in modern technologies, especially precise devices, due to the highest values of electro-mechanical coupling among other piezoelectric materials. In turn, all ferroelectric materials are pyroelectric ones, thus, polarize when heated or cooled. The presence of different defects (e.g. cracks or inclusions) can additionally cause high stress and electric displacement intensity under the applied thermal load, especially, when the pyroelectric material is not homogeneous, or consists of homogeneous parts bonded together. The paper presents a comprehensive review on the methods, especially numeric and analytic ones, used to study the influence of different fields on stress concentration at defects and fibers. The questions on fracture of defective solids with thin inclusions are also examined.

**Keywords:** thermomagnetoelastoelectricity, crack, thin inclusion, anisotropic, composite, smart material

*Пастернак Я.М., Сулим Г.Т., Пастернак Р.М.*

**ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОБЗОР ПУБЛИКАЦИ ДО 2010 Г.**

В работе произведен обзор современных научных исследований по изучению взаимодействия физико-механических полей в деформируемых твердых телах с тонкими неоднородностями, отверстиями, трещинами и другими дефектами.

**Ключевые слова:** термомагнитоэлектрoупругость, трещина, тонкое включение, анизотропный, композит, интеллектуальный материал