

**МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ - 2023»
до 145-річчя від дня народження С.П.Тимошенка**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
«ACTUAL PROBLEMS OF MECHANICS - 2023»
to the 145th anniversary of the birth of S.P. Timoshenko**

14 - 16 листопада, 2023

МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ



Київ, Дніпро, Львів, Харків — 2023

**Міжнародна наукова конференція
“Актуальні проблеми механіки”
до 145-річчя від дня народження С.П. Тимошенка**

Організатор конференції

Інститут механіки імені С.П. Тимошенка НАН України

Співорганізатори конференції:

Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки
Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України
Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України
Інститут гідромеханіки НАН України
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України
ДП “Конструкторське бюро “Південне” імені М.К. Янгеля”
Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача НАН України
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
НТУУ “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Національний транспортний університет України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ (Україна)

Співголови:

Богданов В.Л., Назаренко В.М.

Учений секретар оргкомітету

Стебляк П.О.

Члени організаційного комітету:

Гузь О.М., Галішин О.З., Голуб В.П., Григоренко О.Я., Камінський А.О., Карнаухов В.Г., Кирилюк В.С., Кубенко В.Д., Луговий П.З., Мартинюк А.А., Руцицький Я.Я., Чернишенко І.С.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Співголови:

Богданов В.Л., Назаренко В.М. (Україна)

Члени програмного комітету:

Акбаров С. (Туреччина; Азербайджан), Альтенбах Х. (Німеччина), Амабілі М. (Канада), Бобир М.І. (Україна), Булат А.Ф. (Україна), Воропасв Г.О. (Україна), Галішин О.З. (Україна), Гдоутос Е. (Греція), Голуб В.П. (Україна), Григоренко О.Я. (Україна), Гузь І. (Велика Британія, Англія), Гузь О.М. (Україна), Дзюба А.П. (Україна), Жук Я.О. (Україна), Зозуля В. (Італія), Камінський А.О. (Україна), Карнаухов В.Г. (Україна), Кашталян М. (Велика Британія, Шотландія), Кирилюк В.С. (Україна), Круковський О.П. (Україна), Кубенко В.Д. (Україна), Кушнір Р.М. (Україна), Лапуста Ю. (Франція), Лобода В.В. (Україна), Лоза І.А. (Україна), Луговий П.З. (Україна), Манг Г. (Австрія), Мартинюк А.А. (Україна), Марчук О.В. (Україна), Мюллер В. (Німеччина), Пилипенко О.В. (Україна), Пошивалов В.П. (Україна), Руцицький Я.Я. (Україна), Сіренко В.М. (Україна), Стебляк П.О. (Україна), Хіміч О.М. (Україна), Чате А. (Латвія), Чернишенко І.С. (Україна), Чирков О.Ю. (Україна)

ISBN 978-617-95378-0-6

Секція 8д: Механіка ракетно-космічних систем та технічна механіка

ЗМІСТ

1(25). В. С. Гудрамович, Е. Л. Гарт, Б. І. Терьохін ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РАДІАЛЬНО-НЕОДНОРІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ НАВКОЛО ОТВОРІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНЧАТО-ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ	204
2(40). А. П. Дзюба, В.М. Сіренко МЕТОДИКА УРАХУВАННЯ ПОХИБОК ВХІДНИХ ДАНИХ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КРИТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ВЕЛИКОГАБАРИТНІ ОБОЛОНКОВІ КОНСТРУКЦІЇ	206
3(3). П.О.Стебляк, Ю.А.Черняков, О.Д.Петров ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ТЕРМО-ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СПЛАВІВ З МАЙДАНЧИКОМ ПЛИННОСТІ	207
4(39). А. П. Дзюба, П. А. Дзюба ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОЗДОВЖНЬО СТИСНУТИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ПОСЛАБЛЕНИХ РІЗНОЮ КІЛЬКІСТЮ ВИПАДКОВИХ РОЗРІЗІВ-ТРИЩИН	208
5(41). А. П. Дзюба, Р. А. Іскандеров, Ю.М. Селіванов ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТОНКОСТІННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ОПТИМАЛЬНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	209
6(46). О.Д.Петров ЦИКЛІЧНИЙ ВИГІН ПЛАСТИНИ З УРАХУВАННЯМ ВЕЛИКИХ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ	211
7(57). А.Г.Дем'яненко, В.О.Гурідова, Д.В.Клюшник С.П.ТИМОШЕНКО ТА СУЧАСНА ІНЖЕНЕРНА ОСВІТА В УКРАЇНІ – СТАН, РЕАЛІЇ, ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	213
8(73). А.Ю. Дреус, А.Ю. Круглий, П.А. Дзюба ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У ДОСЛІДЖЕННЯХ СТІЙКОСТІ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ	215
9(84). В.І.Кузьменко, С.О.Плашенко ДЕФОРМІВНІ СИСТЕМИ ЗІ ЗВОРОТНІМИ ЗВ'ЯЗКАМИ	217
10(154). А. F. Sanin, V.I. Lipovskyi, O.E. Bondarenko, V.I. Shynkaruk, THE USE OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION METHODS ON THE EXAMPLES OF PROBLEMS OF STRENGTH OF ROCKET AND SPACE STRUCTURES	217
11(193). О. С. Аксьонов, О. Є. Золотько ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ КАМЕРИ ДЕТОНАЦІЙНОГО ДВИГУНА	219
12(195). В.С. Бейцун, С.В. Тарасов МЕТОДИ ВІЗУАЛЬНОГО СТЕЖЕННЯ ПРИ НАТУРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ДИНАМІКИ БОРТОВИХ МАНІПУЛЯТОРІВ ТА ШТАНГ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ	220
13(212). Воєділо Р.Р., Лобода В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ БІМАТЕРІАЛЬНОЇ ПЛОЩИНИ З СИСТЕМОЮ ТРИЩИН МІЖ ДВОМА МАТЕРІАЛАМИ	222
14(221). М.О. Катренко ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВКОСТІ РОБОЧОГО КОЛЕСА РАДІАЛЬНОЇ МАЛОВИТРАТНОЇ ТУРБИНИ	223
16(222). І.В.Добров АЛГОРИТМ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВАЖЕЛЯ ЖУКОВСЬКОГО ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУПРОВІДНОЇ ЛАНКИ МЕХАНІЗМУ	224

15(223). О.В. Кудін, А.О. Ярош НЕЙРОМЕРЕЖІВІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ У ЗАДАЧАХ ЗГИНУ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНИХ БАЛОК	227
17(200). С.В. Алексєєнко ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМ КРИЖАНИХ НАРОСТІВ НА АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХНЯХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	228
18(186). Д.О. Редчиць, О.Б. Польовий, С.В. Тарасов, С.В. Моїсєєнко ВЗАЄМОДІЯ РОТОРІВ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ПОТОКАМИ ПОВІТРЯ	229
19(185). А.Г. Зеленський АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ГРАНИЧНОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ПЛИТИ У ВИСОКОМУ НАБЛИЖЕННІ З УРАХУВАННЯМ КРАЙОВИХ ЕФЕКТІВ	231
20(183). В.І.Лаврінєнко, В.Ф.Молчанов, В.Ю.Солод, Д.П.Часов ПОСТАНОВКА НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЗАДАЧІ ФІЛЬТРУВАННЯ РІДИНИ У ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ РІШЕННЯ	232
21(174). С.М.Гребєнюк, С.І.Гоменюк, О.Г.Спиця, Н.І.-В.Манько ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ З ПОРОЖНИСТИМИ ВОЛОКНАМИ	234
22(170). В.О. Гурідова, А.Г. Дем'яненко ПРУЖНІ МЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ З ДВОХВИЛЬОВИМ ХАРАКТЕРОМ РУХУ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕКЛАСИЧНИМ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ	235
23(157). С.В. Тарасов, Д.О. Редчиць, А.С.Тарасов МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ Н-РОТОРА ДАР'Є ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАРТОВИХ І РОБОЧИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ	236
24(118). Т.С. Кагадій, А.Г. Шпорта ДОСЛІДЖЕННЯ УСКЛАДНЕНОЇ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА ЗБУРЕНЬ	238
25(80). В.З. Грищак ЗАГАЛЬНА СТІЙКІСТЬ ТА БІФУРКАЦІЙНИЙ СТАН ПІДКРІПЛЕНОЇ СКЛАДЕНОЇ ОБОЛОНКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЗМІННОЇ ГАУССОВОЇ КРИВИЗНИ ВІДСІКІВ ПРИ КОМБІНОВАНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	240
26(67). А. Ю. Дреус, А.В. Сохацький, О.В. Кравець ВИКОРИСТАННЯ ЕКРАННОГО ЕФЕКТУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ: ОГЛЯД ТА ПЕРСПЕКТИВИ	241
27(55). О. Онопрієнко, В. Говоруха АНАЛІЗ РУЙНУВАННЯ ТА ЕФЕКТИ ЕКРАНУВАННЯ В П'ЄЗОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛАХ	242
28(31). А.В. Сохацький МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ: ПРОБЛЕМИ, ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ	244

В. С. Гудрамович¹, Е. Л. Гарт², Б. І. Терьохін²

**ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РАДІАЛЬНО-НЕОДНОРІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ
НАВКОЛО ОТВОРІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛАСТИНЧАТО-
ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

¹ Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна;

² Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро, Україна;
e-mail: hart@ua.fm; bogdan.teryokhin@gmail.com

Конструкції ракетно-космічної техніки часто містять пластинчато-оболонкові елементи з вирізами або отворами різної конфігурації. Застосування включень із функціонально-градієнтного матеріалу (ФГМ) в таких конструкціях дозволяє впливати на коефіцієнт концентрації напружень (ККН) в околі отворів [1, 3]. Наявність такого роду неоднорідності матеріалу призводить до підвищення складності математичної моделі задачі. Тому при дослідженні напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій із ФГМ та різними неоднорідностями (отворами, включеннями тощо) доцільно використовувати числові методи

A.Yu.Dreus¹, A.V. Sokhatskyi², O.V. Kravets¹

USE OF THE WING-IN-GROUND EFFECT TO CREATE HIGHSPEED AERODYNAMIC SYSTEMS: REVIEW AND PROSPECTS

¹Oles Honchar Dnipro National University, Haharina ave., 72, 49010, Dnipro, Ukraine; e-mail: dreus@mmf.dnu.edu.ua

²University of Customs and Finance, Volodymyr Vernadskyi st, 2/4, 49000, Dnipro, Ukraine

The wing-in-ground effect is the physical basis for creation of high-speed low-flying vehicles: Wing-in-Ground crafts (WIG crafts), due to a significant increase in the load-bearing properties and aerodynamic quality of the wing during the flight near the surface. The first developments of such large devices using the dynamic principle of support above the surface were carried way back to the 60's of the XX century (for example, "Orlenok" project (USSR), Warner's "Compressor" airplane (USA), Aeroslodge No 8 (Finland), XTW-1 vehicle (China) ect). But, due to technical and economic factors, these projects were not developed, and today, the military and commercial use of this type of vessels is limited.

The paper presents the world experience in the development of WIG systems. The economic efficiency of this type of vehicles are analyzed. The war waged by Russia against Ukraine revealed a certain set of problems and tasks in the field of development of unmanned technologies, both on the modern battlefield and in the industrial complex, in particular, the lack of domestic modern high-speed autonomous aerodynamic systems and complexes capable of solving multi-purpose tasks. Especially, it should be noted the lagging of national technologies in the field of development of high-speed surface subsurface vessels. Increasing the speed of such systems is a key issue for ensuring tactical advantages, notably when solving special tasks. The possibility of developing a high-speed transport unmanned vehicle using the dynamic principle of support over the surface is theoretically substantiated. The efficiency of WIG systems was evaluated according to the Gabriel-Karman dependence and it was shown that such systems can potentially occupy a niche of speeds of 200-500 km/h, which is not used in practice.

The key role in the implementation of the dynamic principle of support belongs to processes of aerodynamics of the bearing surface near the screen (relative to the flat surface of the earth or water). The nature of the effect of the screen on the aerodynamic characteristics of the object is quite complex. It depends on many factors and, to date, has been studied only for individual cases. The main problem in the creation of technologies of unmanned WIG systems is the lack of a well-founded flight theory of such devices, on the basis of which it is possible to ensure safe autonomous operation at all cruising stages. The majority of modern studies on the aerodynamic of WIG crafts are aimed at the study of various aerodynamic schemes. The methodology of experimental studies of the wing-in-ground effect and the results of such studies at the Oles Honchar Dnipro National University are presented herein.

The work was carried out with the financial support of the National Research Foundation of Ukraine within the framework of the project 2022.01/0170 "Substantiation of aerodynamic and design parameters of a high-speed wing-in-ground craft".

KEY WORDS: aerodynamic of unmanned aerial vehicles, wing-in-ground effect, energy efficiency of UAVs, history of WIG systems

О. Онопрієнко, В. Говоруха

АНАЛІЗ РУЙНУВАННЯ ТА ЕФЕКТИ ЕКРАНУВАННЯ В П'ЄЗОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, onopriienko.oleg@gmail.com, govorukhavb@yahoo.com

Протягом останніх десятиріч розрахункові моделі суцільних середовищ 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 режими роботи. П'єзоелектричні матеріали, основною властивістю яких є зв'язок між електричними та механічними полями, все ширше використовують в інтелектуальних електромеханічних системах як сенсори, перетворювачі та актуатори. Вагоме місце серед новітніх матеріалів посідають також магнітоелектричні композити, тобто, виготовлені за керамо- чи нанотехнологіями тверді суміші п'єзомагнітної та п'єзоелектричної компонент, у яких магнітоелектричний ефект виникає внаслідок взаємодії цих двох фаз. Найпоширенішим прикладом такого композиту є $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$, який відзначається легкістю, міцністю, надійністю та стійкістю до впливу навколишнього середовища, а тому широко використовується для виготовлення інтелектуальних конструкційних елементів нового покоління. Однак, недосконалість чи порушення технології виробництва або експлуатації таких композитів можуть зумовити утворення на мезо- та макрорівнях дефектів у формі тонких включень або тріщин, зокрема міжфазних, що, в більшості випадків, призводить до руйнування всього композиту. Тому прогнозування міцності та надійності конструктивних елементів приладів, виготовлених з п'єзоелектричних/п'єзомагнітних матеріалів, потребує дослідження й аналізу процесів їх руйнування.

Антиплоску задачу для непроникної та проникної тріщини, розташованої між двома різнорідними магнітоелектропружними матеріалами під дією механічних навантажень та електричних і магнітних полів, а також антиплоску деформацію багатозарового п'єзомагнітного/п'єзоелектричного композиту з періодичними міжфазними тріщинами під дією магнітних або електричних полів було розглянуто в роботі [1]. Поведінку двох колінарних міжфазних тріщин у магнітоелектропружних матеріалах під дією антиплоского зсуву та розв'язки для обмежено проникної тріщини або двох колінарних обмежено проникних тріщин у п'єзоелектричних/п'єзомагнітних матеріалах було досліджено в роботі [2]. В роботі [3] розглянуто плоску задачу для п'єзоелектромагнітного простору з тріщиною з частковою електричною та магнітною проникністю. Проблема зведена до векторної задачі лінійного спряження, яка розв'язана точно. Знайдено аналітичні вирази для напружень, електричних і магнітних зміщень, їх коефіцієнтів інтенсивності, а також для швидкості вивільнення енергії. Варто зазначити, що математичні моделі п'єзоелектричних/п'єзомагнітних композитів мають певні аналогії з відповідними моделями п'єзоелектричних матеріалів. Однак існують також й специфічні відмінності, які пов'язані зі складовими електромагнітопружних рівнянь, різними електричними і магнітними граничними умовами на берегах тріщин та появою нових ефектів електромагнітопружної взаємодії.

На відміну від лінійної механіки руйнування пружних тіл, задачі теорії тріщин у п'єзоелектричних та магнітоелектропружних матеріалах є, загалом, нелінійними, оскільки діелектрична та магнітна проникності газу (звичай, 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. Залежності між останніми часто будують, використовуючи модель напівпроникної тріщини, для якої стрибок електричного чи магнітного потенціалів пропорційний до добутку розкриття на нормальну складову електричного зміщення чи магнітної індукції. Лінеаризуючи ці рівняння, для спрощення вводять також моделі непроникної тріщини, для якої електричне зміщення та магнітна індукція на поверхнях тріщини є заданими (звичай, нульовими, тобто, магнітний і електричний контакт поверхонь відсутній), а також проникної тріщини, для якої електричний та магнітний потенціали разом із нормальними складовими електричного зміщення та магнітної індукції є неперервними при переході через поверхню тріщини, тобто, реалізується ідеальний електричний і магнітний контакт. Крім того, поверхні тріщини іноді можуть бути вкриті електродами або тріщина може бути заповнена провідною рідиною. В обох випадках застосовуються моделі електропровідної тріщини.

Останнім часом значну увагу при вивченні руйнування, що зароджується в п'єзомагнітних матеріалах поблизу вершини тріщини, приділено дослідженню ефекту екранування вершини тріщини, тобто явищу, коли розподіл магнітного поля навколо вершини тріщини пом'якшує зростання тріщини та зменшує загальний коефіцієнт інтенсивності напруження, перешкоджаючи поширенню тріщини [4]. Чисельна реалізація, яка включає наявність ефекту екранування вершини тріщини в п'єзомагнітних матеріалах, враховує зв'язок між магнітним і механічним полями, зокрема п'єзомагнітні властивості матеріалу, геометрію тріщини та характер навантаження. З огляду на розвиток нанотехнологій у виготовленні магнітоелектричних композитів дослідження магнітоелектропружних матеріалів з урахуванням ефекту екранування вершин тріщини є досить актуальним, проте і значно складнішим завданням, яке потребує додаткового дослідження.

У даній роботі розглянуто антиплоску задачу для міжфазної тріщини з різними варіантами змішаних електричних і магнітних умов на її берегах. Зовнішнє навантаження задане рівномірно розподіленими на нескінченності полями механічних зусиль, електричної та магнітної індукції.

Як відомо [3], основні співвідношення для п'єзоелектромагнітних тіл включають:

$$\sigma_{ij} = c_{ijk} \epsilon_{ks} - e_{sij} E_s - h_{sij} H_s, \quad D_i = e_{iks} \epsilon_{ks} + \alpha_{is} E_s + d_{is} H_s, \quad B_i = h_{iks} \epsilon_{ks} + d_{is} E_s + \gamma_{is} H_s,$$

рівняння рівноваги

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad D_{i,j} = 0, \quad B_{i,j} = 0,$$

та вирази для деформації, напруженості електричного та магнітного полів

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad E_i = -\varphi_{,i}, \quad H_i = -\psi_{,i}.$$

В антиплоскому випадку маємо:

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_3 = u_3(x_1, x_2), \quad \varphi = \varphi(x_1, x_2), \quad \psi = \psi(x_1, x_2).$$

Враховуючи, що функції u_3 , φ та ψ є гармонічними, отримано такі представлення механічних, електричних та магнітних факторів

$$\mathbf{u} = \Phi(z) + \overline{\Phi}(\bar{z}), \quad \mathbf{t} = \mathbf{B}\Phi'(z) + \overline{\mathbf{B}}\overline{\Phi}'(\bar{z}),$$

де $\mathbf{u} = [\mu_3, \varphi, \psi]^T$, $\mathbf{t} = [\sigma_{32}, D_2, B_2]^T$, $\Phi(z) = [\Phi_1(z), \Phi_2(z), \Phi_3(z)]^T$ - кусково-аналітична вектор-функція комплексної змінної $z = x_1 + ix_2$.

З використанням представлень компонентів поля на лінії розмежування п'єзоелектромагнітних матеріалів через одну кусково-аналітичну функцію, поставлену проблему зведено до крайової задачі, для якої виписано точний аналітичний розв'язок. На основі цього розв'язку знайдено аналітичні вирази для компонент тензора напружень, векторів індукції електричного та магнітного полів, стрибків переміщень та потенціалів електричного і магнітного полів на різних ділянках межі поділу матеріалів. Ці величини також представлено графічно уздовж відповідних частин інтерфейсу. Проведено порівняння результатів, одержаних для різних моделей тріщини. Для різних видів навантаження визначено основні параметри руйнування. Проаналізовано ефект екранування вершини міжфазної тріщини в п'єзоелектромагнітному матеріалі. Показано, що в залежності від величини зовнішнього навантаження спостерігається різний вплив електричного та магнітного полів на основні характеристики поля в околі вершини міжфазної тріщини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Інтелектуальні матеріали, П'єзомагнетики, Розрахункові моделі, Ефект екранування вершини тріщини

1. Wan Y., Yue Y., Zhong Z. Multilayered piezomagnetic/piezoelectric composite with periodic interface cracks under magnetic or electric field // Eng. Fract. Mech. – 2012. – **84**. – P. 132–145.
2. Zhou Z.G., Zhang P.W., Wu L.Z. Solutions to a limited-permeable crack or two limited-permeable collinear cracks in piezoelectric/piezomagnetic materials // Arch. Appl. Mech. – 2007. – **77**. – P. 861–882.
3. Говоруха В. Б., Ходанен Т. В., Лобода В. В. Про електричні і магнітні граничні умови на берегах тріщини в п'єзоелектромагнітному матеріалі // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. – 2013. – Вип. 3. – С. 117–120.
4. Li Y.-D., Lee K.-Y. Crack tip shielding and anti-shielding effects of the imperfect interface in a layered piezoelectric sensor // Int. J. Solids Structures. – 2009. – **46**. – P. 1736-1742.

О. Onopriienko, V. Govorukha

FRACTURE ANALYSIS AND SHIELDING EFFECTS IN PIEZOMAGNETIC MATERIALS

Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov Str.. 25, 49600, Dnipro, Ukraine e-mail: onopriienko.oleg@gmail.com, govorukhavb@yahoo.com

This paper discusses several problem scenarios, including anti-plane problems for impermeable and permeable cracks in magneto-electroelastic materials, as well as the deformation of a multilayer piezoelectric/piezoelectric composite with periodic interfacial cracks under magnetic or electric fields. In particular, considerable attention is drawn to the study of fractures in piezomagnetic materials near the crack tip and the crack tip shielding effect, which softens crack growth and reduces overall stress intensity, ultimately preventing propagation cracks. Numerical implementation accounting for piezomagnetic properties, crack geometry, and loading conditions proves valuable in this study, especially in the context of developing nanotechnologies for magnetoelectric composites.

А.В. Сохацький

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ: ПРОБЛЕМИ, ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

Інститут транспортних систем та технологій НАН України, вул. Писаржевського, 5, 49000, Дніпро, Україна; e-mail: Sokhatsky_anatoly@ukr.net

Abstract. Classical approaches to modeling turbulent flows are methods based on the use of Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (RANS). They are closed with the help of one or another semi-empirical turbulence model. In this paper, we consider hybrid approaches based on the joint use of Reynolds Averaged Navier - Stokes and Large Eddy Simulation approaches in different flow domains. They are the most common for practical use, based on the capabilities of computing technology. To close the initial equations, the Spalart-Allmaras turbulence model in the realization of decoupled vortices is used. A set of programs for numerical modeling of the aerodynamics of transport vehicles has been developed. The results of numerical calculations are presented.