

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кіпніса Олександра Леонідовича **«Стійкість матеріалів з покриттям при стиску вздовж межі поділу за різних умов міжфазного контакту»**, подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Дослідження закономірностей деформування та втрати стійкості кусково-однорідних тіл при скінченних докритичних деформаціях належить до найбільш складних і математично містких розділів сучасної нелінійної механіки. Наявність меж поділу середовищ та локальних дефектів зумовлює необхідність постановки та розв'язання складних мішаних крайових задач. Традиційні наближені підходи часто не дозволяють адекватно визначити критичні параметри навантаження, що вимагає залучення строгих аналітичних та чисельно-аналітичних методів. У цьому контексті дисертаційна робота О.Л. Кіпніса, присвячена розробці математичного апарату для дослідження стійкості гіперпружних систем з тонким покриттям із недосконалим контактним зв'язком, є безперечно **актуальною і становить значний науковий інтерес**.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** Безсумнівною перевагою роботи є її високий математичний рівень. Достовірність та строгість отриманих результатів забезпечується коректним використанням рівнянь тривимірної лінеаризованої теорії стійкості. Здобувачем успішно реалізовано процедуру зведення граничних задач, сформульованих в термінах потенціальних гармонічних функцій (складових представлень загальних розв'язків лінеаризованих рівнянь рівноваги) до трансцендентних рівнянь (для бездефектних бішарів) чи задач на власні значення для інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду (для бішарів з дефектами). Висока точність знайдених критичних параметрів навантаження підтверджується строгим математичним обґрунтуванням застосованих алгоритмів, їх внутрішньою збіжністю та граничним переходом до відомих розв'язків для однорідних середовищ.

**Наукова новизна дисертаційної роботи** полягає у розробці та математичному обґрунтуванні ефективного напіваналітичного підходу до розв'язання складних мішаних крайових задач лінеаризованої теорії стійкості для напівобмежених кусково-однорідних середовищ. До найбільш вагомих фундаментальних здобутків автора слід віднести:

- виведення трансцендентних рівнянь для аналізу втрати стійкості гіперпружних бішарів за умов ідеального контакту та гладкого проковзування компонентів;
- побудову інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду для визначення критичної деформації втрати стійкості бішарових систем, послаблених поодинокими міжфазними й неміжфазними тріщинами та зонами гладкого проковзування;
- розробку на основі методу Бубнова – Гальоркіна ефективного апарату для дослідження вказаних інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду (та їх систем), який базується на їх зведенні до задач на власні значення для систем лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомого параметра критичної деформації, що складним нелінійним чином входить до їхніх матричних коефіцієнтів;
- проведення розгорнутого параметричного аналізу в досліджуваних задачах, який включає: вивчення залежності критичних параметрів навантаження від механічних та геометричних характеристик; обґрунтування взаємодії різних механізмів втрати стійкості, що реалізуються в тонкоплівкових системах; оцінку впливу структури пружних потенціалів матеріалів тіла на значення критичних деформацій втрати стійкості тощо.

**Практична цінність роботи** полягає в тому, що знайдені найменші власні значення (які безпосередньо відповідають макроскопічним критичним деформаціям) та побудовані на їх основі криві втрати стійкості є високоточними еталонними розв'язками. Вони формують надійну математичну базу для тестування та верифікації наближених числових методів (зокрема, з використанням скінченноелементних комплексів). Крім того, розроблений аналітико-числовий апарат може бути безпосередньо застосований для визначення пружних параметрів або оцінки граничної несучої здатності сучасних шаруватих структур із міжфазними недосконалостями.

**Повнота викладу в наукових публікаціях.** Фундаментальні результати дисертаційного дослідження пройшли ретельну експертизу науковою спільнотою та оприлюднені у 26 працях. Високий рівень інтеграції здобувача у світовий науковий дискурс підтверджується наявністю 11 статей у провідних міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science. Репрезентативність дослідження в національному науковому просторі забезпечується 7 статтями у фахових виданнях України (категорії «А» і «Б»). Матеріали роботи пройшли належну апробацію на профільних міжнародних та вітчизняних конференціях (9 доповідей). Зазначений обсяг та рівень публікацій повністю відповідають нормативним вимогам МОН України.

**Академічна доброчесність.** Дисертація виконана здобувачем самостійно на високому науково-методичному рівні. Відсутні будь-які ознаки академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів. Використані ідеї та методи інших авторів супроводжуються коректними посиланнями, а особистий внесок О.Л. Кіпніса у статтях, написаних у співавторстві, є визначальним і чітко окресленим.

**Зауваження та дискусійні питання.** Високо оцінюючи загальний теоретичний рівень та строгість математичних викладок дисертаційної роботи, вважаю за необхідне звернути увагу на низку дискусійних аспектів та зробити наступні зауваження:

1. У постановці задачі про стиск напівобмежених бішарових систем при гладкому проковзуванні компонентів із розділу 3 не передбачено можливість відриву плівки від підкладки на певних ділянках їхньої спільної межі. Те саме стосується задачі для міжфазної зони гладкого проковзування із розділу 5 всередині зони проковзування.

2. У задачі про стиск напівобмежених бішарових систем із жорстко з'єднаними компонентами вздовж міжфазної тріщини (розділ 4) не розглядається контакт берегів міжфазної тріщини біля її вершин та можливість контакту берегів усередині тріщини. Контакт берегів всередині тріщини, не розташованої на межі поділу матеріалів (розділ 7), також можливий.

3. Як відомо, побудова чисельного розв'язку інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду потребує використання методів регуляризації. Чи переноситься необхідність регуляризації для знаходження власних значень таких інтегральних рівнянь? Адже в роботі обчислюються саме власні значення.

Висловлені зауваження мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер і жодним чином не знижують високої оцінки фундаментального рівня дисертаційної роботи.

**Загальний висновок.** Дисертація Кіпніса Олександра Леонідовича «Стійкість матеріалів з покриттям при стиску вздовж межі поділу за різних умов міжфазного контакту» є завершеною, оригінальною науковою працею, яка вирішує важливу наукову проблему побудови аналітико-числових розв'язків задач стійкості гіперпружних кусково-однорідних тіл.

За рівнем математичної строгості, глибиною дослідження, науковою новизною та обґрунтованістю висновків робота повністю відповідає вимогам пп. 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197. Відповідно, її автор, Кіпніс Олександр Леонідович, безперечно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор  
провідний науковий співробітник

Інституту прикладної фізики НАН України

Володимир ОСТРИК

Власноручний підпис Острика В.І. засвідчую:

Вчений секретар Інституту прикладної фізики  
НАН України

Олексій ВОРОШИЛО

