

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

Проблема забезпечення міцності та надійності сучасних шаруватих композитів, зокрема елементів гнучкої електроніки та біосумісних пристроїв, є одним із найбільш інтенсивних напрямків досліджень у механіці матеріалів. Дисертаційна робота О.Л. Кіпніса спрямована на фундаментальне дослідження механіки гіперпружних бішарових систем типу «півпростір з покриттям» при стиску вздовж прямолінійної межі поділу, коли втрата стійкості у вигляді зморщування поверхні або локального випучування над дефектами стає тригером їхнього подальшого руйнування. У роботі в межах тривимірної лінеаризованої теорії стійкості деформівних тіл представлено та апробовано ефективний напіваналітичний метод визначення критичних параметрів навантаження, що відповідають втраті стійкості. Розглянуто різні типи міжфазного контакту компонентів і проаналізовано вплив на міцність бішарів розташованих на межі поділу та поза нею тріщин та зон проковзування.

Ступінь актуальності обраної теми. У світовій практиці проектування структур з високоеластичних матеріалів традиційні наблизені підходи давно вичерпали себе. Особливо критичним є аналіз взаємодії глобальної втрати стійкості та механізмів локального відшарування. Більшість сучасних досліджень у цій галузі спирається виключно на чисельне моделювання, якому часто бракує строгого теоретичного підґрунтя. З огляду на це, розробка автором надійних напіваналітичних методів дослідження стійкості гіперпружних композитних тіл при великих деформаціях з урахуванням впливу умов міжфазного контакту є вельми актуальною задачею, розв'язання якої повністю відповідає запитам сучасної науки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Достовірність отриманих результатів забезпечує застосування фундаментального і математично строгого апарату тривимірної лінеаризованої теорії стійкості. Зведення крайових задач для систем з дефектами до задач на власні значення для інтегральних рівнянь Фредгольма першого роду є елегантним і потужним підходом. Надійність висновків підтверджена збіжністю

числових алгоритмів та узгодженістю результатів із відомими розв'язками для граничних випадків. Отримані автором результати можуть слугувати у якості еталонних для верифікації суто обчислювальних (зокрема, скінченноелементних) моделей.

Новизна результатів. Наукова новизна роботи полягає у розробці нового напіваналітичного підходу до розв'язання нелінійних задач про втрату стійкості гіперпружних систем із недосконалими межами поділу. Автором вперше виведено строгі співвідношення для аналізу критичних деформацій за умов ідеального проковзування, а також розв'язано складні задачі для систем з дефектами в фазах та на міжфазних поверхнях.

Практичне значення результатів полягає у формуванні надійної теоретичної бази для раціонального проектування новітніх гнучких пристроїв, сонячних панелей та захисних плівок. Встановлені закономірності дають змогу розробникам ефективно прогнозувати несучу здатність таких систем та оцінювати ступінь небезпеки технологічних дефектів на стадії їх виробництва. Запропонований автором підхід може бути також використаний для ідентифікації пружних параметрів тонких полімерних плівок на основі експериментальної реєстрації довжини хвилі зморщування.

Повнота викладу в наукових публікаціях. Достовірність та значущість результатів дисертації підтверджена їх широким оприлюдненням у міжнародній науковій періодиці. За результатами досліджень опубліковано 26 наукових праць, у тому числі: 11 публікацій у виданнях, проіндексованих у наукометричних базах Web of Science Core Collection та/або Scopus (з них 4 статті віднесено до квартилю Q2, 5 статей – до Q3, 1 стаття – до Q4, 1 – тези доповіді міжнародної конференції); 2 статті у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України; 5 статей у періодичних виданнях, включених до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України; 9 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Кількість публікацій повністю відповідають «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» та Наказу МОН України від 23.09.2019 № 1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Академічна доброчесність. Дисертація є оригінальним науковим дослідженням. Аналіз тексту засвідчує абсолютну відсутність академічного плагіату чи фабрикації даних. Усі запозичення мають коректні посилання на першоджерела, а внесок здобувача у спільних працях є ключовим та прозорим.

Зауваження та пропозиції. Високо оцінюючи фундаментальність виконаної роботи, вважаю за необхідне висловити низку дискусійних зауважень та пропозицій щодо подальшого розвитку досліджень:

1. Назва: Термін «різний» є малоінформативним і вносить деяку невизначеність в назву дисертації. Ймовірно, було би краще явно вказати розглянуті в роботі два типи контакту між плівкою та основою, а саме жорстке зчеплення та гладке проковзування.

2. Стор. 34: «Практичне значення результатів роботи полягає у ... формуванні теоретичної бази для оцінки несучої здатності гнучких елементів у мікроелектронних та біомедичних пристроях, сонячних елементах, м'якій робототехніці тощо». Наразі, застосовність результатів дисертаційної роботи є обмеженою з огляду на двовимірність розглянутих моделей та ідеалізовані умови контакту. Чи є можливим поширення розробленого автором напіваналітичного апарату на випадок підложок скінченої товщини, реалістичних моделей недосконалого контакту та перехід до просторової постановки?

3. Стор. 112: Однією з позитивних рис даної роботи є те, що в ній приділено значну увагу верифікації отриманих результатів, зокрема порівнянню з даними літературних джерел. Зокрема, наведені в підрозділі 3.4.7 результати порівняння розрахованих автором значень критичних деформацій і критичних довжин зморщок з наведеними в [Li & Sun, Nature Sci. Rep. 12, 4074 (2022)] даними МСЕ-моделювання свідчать про коректність і точність розвинутого напіваналітичного підходу. Було би цікаво також провести порівняння останнього з числовим методом щодо можливостей врахування характеристик реального бішару, а також обчислювальної ефективності.

4. Відомо, що фізико-механічні характеристики надтонких полімерних плівок у складі композиту можуть суттєво відрізнятися від їхніх макроскопічних аналогів, і їх вимірювання лабораторними методами є вкрай складним. Було б цікаво почути міркування автора щодо того, яким чином розроблений в дисертації математичний апарат і результати дослідження впливу співвідношення жорсткостей плівки та підкладки на критичні параметри стійкості могли би допомогти експериментаторам у визначенні пружних властивостей надтонких плівок.

5. В цілому, справляє позитивне враження ретельність підготовки і оформлення рукопису. В тексті дисертації і автореферату є лише окремі незначні відхилення від мовних

стандартів. Це стосується, зокрема, активних дієприкметників «існуючий», «діючий», «стискаючий» та інших, не притаманних українській мові. Інше зауваження стосується уже згаданого терміну «різний», використаного, окрім назви, лише в авторефераті понад 30 разів. Ймовірно, краще замість «різні теорії» говорити про «ряд теорій», замість «різні автори» - про «групу авторів», замість «різні значення» - про «набір значень» і т. д.

Ці зауваження, втім, жодним чином не знижують загальної позитивної оцінки виконаної роботи і отриманих в ній результатів.

Загальний висновок. Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що дисертація Кіпніса Олександра Леонідовича на тему «Стійкість матеріалів з покриттям при стиску вздовж межі поділу за різних умов міжфазного контакту» являє собою цілісне, глибоке та самостійне наукове дослідження. Робота вирішує важливу наукову проблему оцінки критичних параметрів гіперпружних шаруватих систем з дефектами.

За рівнем виконання, новизною, глибиною аналізу та значимістю отриманих результатів дисертація повністю задовольняє всі вимоги пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197. Відповідно, її автор, Кіпніс Олександр Леонідович, 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 надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України



Володимир КУЩ

Власноручний підпис В. І. Куща засвідчую:

Вчений секретар

Інституту надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України
канд. техн. наук



Володимир СМОКВИНА