

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Глухова Юрія Петровича «Динамічні задачі для шаруватої основи з початковими напруженнями при дії рухомого поверхневого навантаження», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 «Механіка деформівного твердого тіла»

1. **Актуальність теми дисертації.** У сучасному машинобудуванні, будівництві, транспорті, авіаційній і космічній техніці широко застосовуються багатошарові конструкції і матеріали. Це пов'язано з тим, що комбінація шарів з різними механічними характеристиками дозволяє створювати матеріали з заданими механічними, температурними, акустичними та іншими властивостями. В результаті вдається поєднати високу міцність та здатність втримувати силові і температурні навантаження при відносно малій масі і собівартості. Багатошарову структуру також мають природні утворення, геологічні і тектонічні структури. Як правило, ці багатошарові структури знаходяться під дією динамічного навантаження і в них відбуваються складні хвильові процеси. Складність цих хвильових процесів пов'язана з відбиттям хвиль від границь шарів, виникненням незгасаючих поверхневих хвиль типу Релея, Лява, Стоунлі, резонансними явищами. Отже, дослідження динаміки шаруватих середовищ є актуальною потребою сучасної інженерії, механіки деформованих тіл, геофізики, сейсмології і акустики. Серед задач динаміки шаруватих середовищ за складністю особливо місце займають задачі при дії на поверхню рухомих навантажень. По-перше, вони є характерними для широкого кола інженерних об'єктів: автомобільних доріг, залізничних колій, мостів, аеродромів та інших споруд. По-друге, визначення напружено-деформованого стану і дослідження хвильових процесів в багатошарових середовищах при дії рухомого навантаження і дослідження хвильових процесів вимагають створення і розвитку відповідних математичних методів розв'язання граничних задач для

багатошарових тіл. Ці задачі ще більш ускладнюються за рахунок нелінійності в умовах присутності початкових (залишкових) напружень. Тому питання поширення стаціонарних хвиль в тілах зі складною шаруватою структурою практично не досліджувався. Невивченим залишається вплив залишкових напружень на критичні швидкості, розподіл енергії між різними типами хвиль, резонансні явища. На сьогоднішній час основними методами розв'язання динамічних задач для багатошарових тіл з залишковими напруженнями при дії рухомого навантаження є прямі числові методи (скінчених елементів, скінчених різниць). Але при наявності дисперсійних ефектів, критичних режимів, великої кількості шарів застосування цих методів ускладнюється значними обчислювальними затратами і вимагає спеціальних процедур для забезпечення збіжності і необхідної точності. Це зумовлює доцільність розвитку і створення аналітичних і числово-аналітичних методів, які дозволяють глибше дослідити механізми формування напружено-деформованого стану та можуть виступати еталоном для перевірки числових моделей. Таким чином, дослідження динаміки шаруватих тіл під дією рухомих навантажень і наявності залишкових напружень є важливим для сучасної інженерії, геомеханіки, транспортної інфраструктури та машинобудування. Все це визначає актуальність дисертаційної роботи Ю.П. Глухова, присвяченої розробці аналітично-числових методів розв'язання динамічних задач для попередньо напружених шаруватих основ під дією рухомих поверхневих навантажень.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам наукових досліджень відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. Дисертаційне дослідження проводилось при виконанні таких науководослідних робіт:

- НДР 1.3.1.373 «Дослідження пружного деформування неоднорідних тіл при динамічному навантаженні» (№ державної реєстрації 0112U000240, I.2012 – IV.2015);
- НДР 1.3.1.397 «Дослідження динамічних процесів в шаруватих матеріалах та неоднорідних елементах конструкцій» (№ державної реєстрації 0115U005699, I.2016 – IV.2019);
- НДР 1.3.1.409 «Сучасні проблеми механіки матеріалів і елементів конструкцій з внутрішньою структурою та дефектами» (№ державної реєстрації 0117U000699, I.2017 – IV.2021);
- НДР 1.3.1.422 «Плоскі задачі для попередньо напружених шаруватих тіл під дією статичних і динамічних навантажень» (КПКВК 6541230) (№ державної реєстрації 0120U102798, I.2020 – IV.2021);
- НДР 1.3.1.426 «Розробка методів розв'язання задач статичної і динамічної для неоднорідних матеріалів і тонкостінних елементів конструкцій» (№ державної реєстрації 0119U103761, I.2020 – IV.2024);
- НДР 1.3.1.451 «Механіка попередньо напружених тіл і нелінійно пружних оболонкових елементів конструкцій некругового поперечного перерізу» (№ державної реєстрації 0122U202076, I.2023 – IV.2027) (етап автора дисертації в 2025 році).

3. Наукова новизна та основні наукові результати. Головним і безумовно новим результатом дисертації є регуляриційно-спектральний метод зі структурною регуляризацією, який дозволяє розв'язувати динамічні задачі для багатошарових основ без необхідності використання традиційних прийомів регуляризації та контурних деформацій у комплексній площині. Замість деформації контурів інтегрування у комплексній площині, що є складним і не особливо у випадку великої кількості шарів, автор вводить регуляційні коефіцієнти, які забезпечують фізично коректне узгодження хвильових полів між шарами та стабілізують числову реалізацію при високих

частотах і контрастних властивостях матеріалів. Регуляріційно-спектральний метод реалізується як узагальнена спектрально-матрична схема, у якій обчислення спектральних амплітуд виконується на основі збіжного спектрального інтегралу, що забезпечує числову стійкість і фізичну коректність. В результаті отримано нові аналітичні співвідношення для опису хвильових полів у багатошарових системах, у тому числі з початковими напруженнями. Встановлена область застосування нового методу та на прикладах конкретних задач показано його ефективність для моделювання дії рухомих навантажень, хвильової взаємодії у багатошарових основах, композитах та геоматеріалах. Виявлено низку нових фізико-механічних ефектів, зумовлених дією початкових напружень, швидкістю рухомого навантаження та структурою багатошарової основи. Вперше розв'язано еталонну задачу про динамічну поведінку попередньо напруженої багатошарової смуги під дією рухомого навантаження; така постановка є новою і оригінальною. Розв'язок цієї задачі може використовуватися як базовий для верифікації результатів прямих числових методів. Також отримано ряд точних просторових розв'язків і на їх основі визначено межі застосування деяких існуючих наближених моделей шаруватих середовищ, що має значення для інженерного моделювання.

4. Практичне значення. Отримані наукові результати є основою застосування запропонованого підходу і методів для побудови узагальненої теорії поширення хвиль в шаруватих пружних структурах і безпосередньо використані в прикладних наукових дослідженнях та науково-дослідних і дослідно-конструкторських розробках. Аналітичне розв'язання динамічних задач для багатошарових 2D і 3D основ під впливом рухомого навантаження відкриває широкі можливості для безпосередніх практичних застосувань. Отримані автором результати можуть бути використані під час дослідження впливу початкових напружень на динамічні процеси в шаруватих конструкціях, що піддаються в процесі експлуатації дії рухомих навантажень.

Головні напрямки використання: транспортна інфраструктура, будівництво, промислові об'єкти, сейсмічний захист і геофізика, оборонна сфера та інші.

Порівняння різних наближених і точних моделей шаруватих конструкцій може бути використане для підвищення ефективності розв'язання конкретних інженерних задач. Нові математичні моделі, аналітичні та чисельні методи розв'язання поставлених задач можуть бути включені до лекційних курсів із механіки деформівного твердого тіла.

5. Обґрунтованість та достовірність результатів. Обґрунтованість і достовірність наведених у дисертації результатів ґрунтується на коректності та строгості математичних постановок задач в рамках лінеаризованої теорії пружності тіл з початковими напруженнями. Вони підтверджуються коректністю і фізичною несуперечністю отриманих результатів; порівняльним аналізом точності та узгодженням результатів отриманих різними методами; чисельними розв'язками тестових задач. Достовірність також забезпечується стійкістю розробленого автором методу і його адекватністю при моделюванні досліджуваних процесів. Додаткову достовірність результатів підтверджує правильний фізичний характер розв'язків у граничних випадках та їх збіжність з існуючими класичними моделями.

6. Оцінка змісту та завершеності роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел із 251 найменування та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 326 сторінок разом із 62 рисунками та 5 таблицями. Її структура і об'єм відповідають вимогам до докторських дисертацій (наказ МОН № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» із змінами згідно наказу МОН № 759 від 31.05.2019).

В цілому дисертаційна робота Глухова Ю. П. є завершеним науковим дослідженням. Реферат дисертації повністю відповідає змісту роботи і її основним положенням. Тексти дисертації і реферату викладені на належному

науковому рівні. Загальні висновки дисертаційної роботи повністю відповідають її меті. Тема, зміст та результати дисертаційної роботи відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

7. Апробація результатів дисертації та публікації. Дисертаційна робота пройшла достатньо повну апробацію. За темою дисертації опубліковано 29 наукових робіт:

дві колективні монографії— у співавторстві з О.М. Гузем і С.Ю. Бабичем в межах чітко окресленої наукової проблематики (статичні та динамічні задачі для пружної основи з початковими напруженнями); одна у складі широкого колективу Інституту механіки (видавництво Springer), де авторові належить окремий розділ (співавтори С.Ю. Бабич та В.Ф. Корнієнко), що безпосередньо відповідає темі дослідження;

26 наукових статей: 8 публікацій у міжнародному науковому журналі «Прикладна механіка - International Applied Mechanics» (квартиль Q2) і (квартиль Q3), 6 публікацій в журналі «Доповіді НАНУ» (категорія Б), решта публікацій в фахових виданнях України категорії Б. Результати, викладені в дисертації, у повній мірі оприлюднені в наукових фахових виданнях, які відповідають наказу МОН України № 1220 від 23.09.2019 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

8. Зауваження. За змістом роботи виникли наступні зауваження.

1. Розроблений автором регуляриційно-спектральний метод базуються на процедурах структурної регуляризації і побудові регуляційних коефіцієнтів. На жаль, в дисертації при розв'язанні усіх розглянутих задач ніде не показана техніка здійснювання регуляризації і побудови цих регуляційних коефіцієнтів. Це слід було б зробити хоча б при побудові розв'язку еталонної задачі про динаміку попередньо напруженої

багатошарової полоси під дією рухомого навантаження. Якщо це було зроблено в одній із багатьох публікацій автора, то слід би посилатися на ці роботи. Відсутність інформації стосовно техніки структурної регуляризації і побудові регуляційних коефіцієнтів суттєво ускладнює практичне застосування регуляриційно-спектрального методу зацікавленими дослідниками при розв'язанні інших конкретних задач.

2. Незрозуміло, в якому сенсі слід розуміти гіперсингулярні інтеграли (7.103), (7.107), (7.112), (7.117) .

3. У дисертації проведено порівняння запропонованого методу з іншими: методом комплексних потенціалів (розділ 7) та з методом скінченних елементів. Однак відсутнє систематичне порівняння з іншими аналітичними методами, зокрема з інтегральним і матричним методом, навіть при розгляданні двовимірних наближених моделях шаруватих середовищ. Таке порівняння ще більше б підкреслило переваги регуляриційно-спектрального методу.

4. В дисертації не розглянуто прикладу хоча би двовимірної шаруватої основи з великою кількістю шарів. Всі реальні розрахунки в дисертації здійснено для наближених моделей шаруватих середовищ чи двошарових основ типу смуги на пружній основі. Розв'язання задачі для реально багатошарової основи з розрахунками характеристик хвильових полів ще б сильніше підкреслило ефективність і переваги запропонованого методу в порівнянні з іншими

5. Починати історичний огляд з Ісаака Ньютона мабуть все ж таки недоцільно, хоча цікаво. Більш актуальним був би більш детальний і подрібний огляд сучасних робіт з динаміки багатошарових основ, який би висвітлив більш детально стан проблеми, існуючі методи і перспективи розвитку теорії багатошарових середовищ.

Вищезазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, мають в основному характер побажань і не зменшують ступінь обґрунтованості та вірогідності основних результатів та висновків.

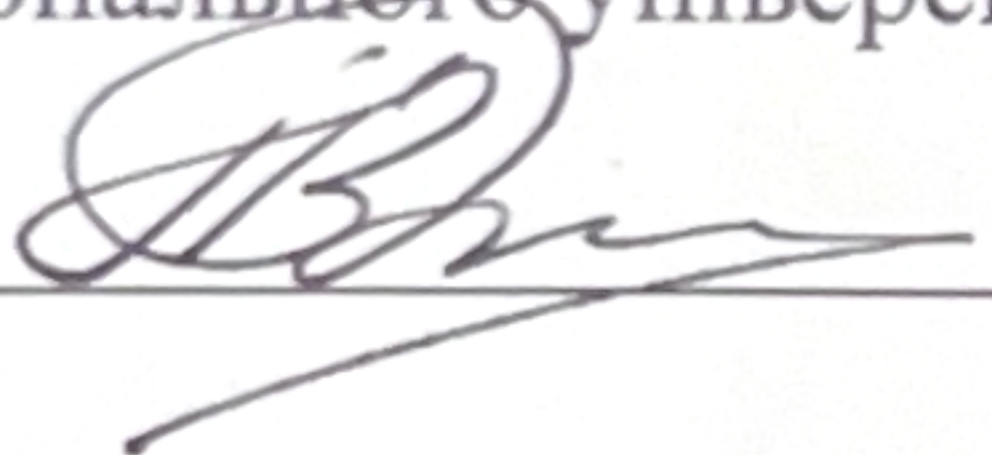
Висновок. Дисертаційна робота Глухова Юрія Петровича «Динамічні задачі для шаруватої основи з початковими напруженнями при дії рухомого поверхневого навантаження» є завершеним науковим дослідженням, у якому одержано нові науково обґрунтовані результати. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, практичною та теоретичною цінністю результатів, дисертаційна робота Глухова Ю.П. відповідає п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затверджених постановою КМ № 1197 від 17.11.2021 р., а її автор, Глухов Юрій Петрович, за проведені актуальні дослідження та розвинення ефективних аналітично-числових методів розв'язання динамічних задач для багат шарових основ заслуговує на надання наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,

завідувач кафедри вищої математики і фізики

Національного університету «Одеська морська академія»

 В.Г. Попов

«22» серпня 2026 р.

Особистий підпис В.Г. Попова засвідчую

