

ВСТУП

Актуальність теми. Протягом останніх десятиріч у світі невпинно розширюється виробництво композитних матеріалів і область їх застосування. Наукове обґрунтування засад і принципів конструювання композитів є передумовою створення матеріалів з наперед заданими властивостями, які значно перевершують властивості класичних матеріалів або взагалі відсутні в них. Це зумовлює значний інтерес до дослідження широкого кола наукових проблем, що стосуються композитних матеріалів. Одна з таких проблем – дослідження процесів, пов'язаних з поширенням пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями.

Пружні хвилі є найбільш ефективним інструментом для дослідження напружено-деформованого стану, структури і властивостей твердих тіл. Це пов'язано з тим, що хвилі – природне, а не чужорідне поле для твердих тіл, і можуть поширюватися на досить великі глибини, взаємодіяти з середовищем, не вносячи при цьому змін в процеси, що там відбуваються.

Внутрішня логіка механіки деформованого твердого тіла як науки, а також запити практики (передусім, неруйнівних випробувань матеріалів і елементів конструкцій) вимагають вдосконалення математичних моделей тіл, що деформуються, роблячи їх найбільш адекватними процесам, що відбуваються.

Для дослідження процесів, пов'язаних з поширенням пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями застосовується тривимірна лінеаризована теорія поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями, що описує основне явище, пов'язане з впливом початкових напружень, – залежність швидкості поширення пружних хвиль від початкових напружень. В рамках цих досліджень розглядалися різні моделі шаруватого середовища, напрями поширення пружних хвиль, різні методи розв'язку поставлених задач, отримано ряд суттєвих результатів.

Разом з тим, задача про поширення пружних вісесиметричних хвиль в композитних шаруватих попередньо напружених матеріалах періодичної

структури для випадку повного проковзування шарів не розглядалася. Розв'язок цієї задачі дає можливість визначити діапазон фізичних величин, що визначають динамічні процеси в композиційних матеріалах при реальному контакті між шарами композиту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що проведені в дисертаційній роботі, виконано у відповідності з науковими темами Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України: 1.3.1.397 «Дослідження динамічних процесів в шаруватих матеріалах та неоднорідних елементах конструкцій» (№ держреєстрації 0115U005699) і 1.3.1.409 «Сучасні проблеми механіки матеріалів і елементів конструкцій з внутрішньою структурою та дефектами» (№ держреєстрації 0117U000699).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження закономірностей поширення вісесиметричних пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів, що включають:

- постановку задач про поширення вісесиметричних пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями в випадку проковзування шарів;
- розвиток методу дослідження процесу поширення пружних вісесиметричних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями [78, 81] на випадок повного проковзування шарів;
- виведення дисперсійних рівнянь для вісесиметричних хвиль, що поширюються вздовж шарів композитного матеріалу періодичної структури;
- розробку алгоритмів та програмного забезпечення для чисельного дослідження отриманих дисперсійних рівнянь;
- побудову двосторонніх оцінок для фазової швидкості вісесиметричних хвиль на основі числових результатів, одержаних при проковзуванні та повному контакті шарів;

– встановлення і дослідження загальних закономірностей впливу початкових напружень, умов контакту шарів композитного матеріалу, фізичних та геометричних характеристик на фазову швидкість вісесиметричних хвиль.

Об'єктом дослідження є динамічні процеси в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів.

Предметом дослідження є вплив початкових напружень, умов контакту шарів композитного матеріалу, фізичних та геометричних характеристик на фазову швидкість вісесиметричних хвиль.

Методи дослідження. Дослідження проводились у рамках тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль у тілах з початковими напруженнями [78, 80]. Для розв'язку трансцендентних дисперсійних рівнянь застосовувалися класичні ітераційні методи обчислювальної математики.

Наукова новизна одержаних результатів полягають у тому, що:

- вперше дано постановку задач про поширення вісесиметричних пружних хвиль у шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при умові проковзування шарів;
- розвинуто метод дослідження процесу поширення хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при умові проковзування шарів;
- отримано нові дисперсійні співвідношення для квазіпоперечних та квазіповздовжніх хвиль, що поширюються вздовж шарів, а також їхні довгохвильові наближення;
- розроблені алгоритми та програмне забезпечення для чисельного дослідження отриманих дисперсійних рівнянь;
- отримано розв'язки нових задач тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями;
- побудовано двосторонню оцінку для фазової швидкості вісесиметричних хвиль на основі одержаних числових результатів;
- встановлено й проаналізовано нові загальні закономірності.

Достовірність результатів. Всі результати досліджень отримані в результаті коректно поставлених задач у рамках тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями [78, 80, 81], з залученням апробованих аналітичних та числових математичних методів та програмного забезпечення. Одержані результати перевірялися на еталонних задачах даного класу. Всі основні результати погоджуються з результатами вже відомими та міркуваннями фізичного характеру.

Практичне значення одержаних результатів. В дисертаційній роботі для високоеластичних композитних матеріалів періодичної структури отримані чисельні результати для випадку повного контакту шарів та випадку повного проковзування шарів, що дає можливість визначити діапазон фізичних величин, що визначають динамічні процеси в композиційних матеріалах при реальному контакті між шарами. Отримані оцінки можуть бути використані у інженерній практиці.

Особистий внесок здобувача. Всі теоретичні та практичні результати дисертації, що виносяться на захист, одержані автором самостійно. В роботі [40] співавторами проведено порівняння результатів розв'язків дисперсійних рівнянь для плоских і вісесиметричних хвиль.

Визначення загального напрямку досліджень і постановка задач належать науковому керівникові О. М. Гузю. Аналіз отриманих результатів проводився сумісно з О. М. Гузем.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались на таких конференціях:

Міжнародній науковій конференції „Математичні проблеми технічної механіки – 2016” (Дніпродзержинськ, Дніпропетровськ, Київ, 2016);

III Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції „Актуальні проблеми інженерної механіки” (Одеса, Київ, 2016);

Науково-технічній конференції „Інформатика, математика, автоматика – 2016” (Суми, 2016);

IV Всеукраїнській науковій конференції „Математичне моделювання та математична фізика” (Кременчук, 2016);

Міжнародній науковій конференції „Математичні проблеми технічної механіки – 2017”. (Дніпро, Кам’янське, 2017);

XVII Міжнародній конференції „Моделювання та дослідження стійкості динамічних систем (DSMSI-2017)” (Київ, 2017).

V Всеукраїнській науковій конференції „Математичне моделювання та математична фізика” (Кременчук, 2017);

VIII Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми безпеки на транспорті” (Республіка Беларусь, Гомель, 2017);

XV Міжнародній науково-технічній конференції „Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів” (Кременчук, 2017);

III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених „Інформаційні технології в моделюванні ІТМ – 2018” (Миколаїв, 2018);

II Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції „Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку” (Бердянськ, 2018);

Всеукраїнській заочній науково-практичній інтернет-конференції «Прикладна математика та комп’ютерні науки» (Маріуполь, 2019);

VI Міжнародній науково-практичній конференції „Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, Київ, 2019).

Окремі положення дисертації періодично доповідались на наукових семінарах відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України (Київ, 2016–2018). Дисертація у завершеному вигляді доповідалася і обговорювалася на науковому семінарі відділу динаміки і стійкості суцільних середовищ Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України (Київ, 2019); науковому семінарі Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України за напрямом ”Механіка композитних і неоднорідних середовищ” (Київ, 2019).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 19 наукових робіт [25 –42, 169], в тому числі 6 статей в міжнародних та фахових виданнях [25, 26, 33, 37, 41, 169].

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 211 найменувань на 22 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 119 сторінок разом із 70 рисунками.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертації; розкрито стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами; сформульовано мету роботи, задачі і методи дослідження; відзначено наукову новизну, практичну цінність і достовірність одержаних результатів; наведено дані про апробацію та публікацію результатів дисертаційної роботи, а також короткий опис структури дисертації.

У **першому** розділі наведено огляд літератури за темою дисертації.

На основі аналізу виконаного огляду сучасного стану проблеми визначено місце даної роботи серед проведених раніше досліджень і обґрунтовано вибір напрямку досліджень.

У **другому** розділі викладені основні рівняння і співвідношення тривимірної лінеаризованої теорії пружності для стисливих та нестисливих тіл з початковими (залишковими) напруженнями з пружним потенціалом довільної структури, приведені представлення загальних розв'язків просторових задач для випадку однорідного початкового стану.

У **третьому** розділі дана постановка задач про поширення вісесиметричних пружних хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів та викладено методіку розв'язання таких задач для стисливих і нестисливих тіл.

Проведено дослідження закономірностей поширення хвиль у стисливих та нестисливих шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів у випадку однорідного початкового стану. Одержано

нові дисперсійні співвідношення для квазіпоперечних і квазіповздовжніх хвиль, а також їхні довгохвильові наближення.

У **четвертому** розділі чисельно досліджуються розв'язки дисперсійних рівнянь, отриманих в роботах [78, 81] для випадку повного контакту шарів вискоеластичного композитного матеріалу, та аналогічні розв'язки дисперсійних рівнянь для випадку повного проковзування шарів (розділ 3). Проведено порівняння отриманих результатів.

У **висновках** приведені основні результати дисертаційної роботи.

Автор щиро дякує науковому керівникові академіку НАН України Олександрю Миколайовичу Гузю за постановку задачі, корисні поради і допомогу при виконанні роботи.