

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Концепція хвильового руху – одно з найширших наукових понять. Хвилі можна вивчати на будь-якому науково-технічному рівні. Це стало причиною широкого розвитку математичних понять і методів для пояснення цього явища з теоретичної точки зору і розв'язку задач, що виникають у різних галузях науки і техніки.

Важливими в практичному аспекті є дослідження закономірностей поширення пружних хвиль.

Основу теорії поширення пружних хвиль в твердих тілах склали праці видатних вчених Г. Лемба [187], А. Лява [189], С. Пуасона [193], Дж. Релея [196], Дж. Стокса [199], Р. Стоунлі [200], У.Томсона (Кельвіна) [184] та інших.

Класична основа теорії поширення пружних хвиль розглянута в монографіях Ф. Пфейфера [192] та А. Лява [106] на початку минулого століття.

В наш час більшість досягнень, пов'язаних з дослідженням пружних хвиль, оснований насамперед на лінійній теорії поширення пружних хвиль, результати якої викладені в численних фундаментальних монографічних виданнях Л. М. Бреховських [21], І. А. Вікторова [24], Р. Дейвіса [162, 163], Г. Кольського [97], Дж. Райнхарта, Дж. Пірсона [197], А. Шоха [198] та інших.

Значне коло явищ описує також нелінійна теорія поширення пружних хвиль, яка активно розвивається в останні роки. Результати, отримані в рамках нелінійної теорії поширення пружних хвиль, узагальнені в монографіях Д. Бленда [19], З. Весоловського [23], Л.К. Зарембо, В.А. Красильнікова [87], В.І. Карпмана [96], [120], У.К. Нігула [121], У.К. Нігула, Ю.К. Енгельбрехта [122], О.В. Руденко, С.І. Солуяна [133], К.Трусдела [146], Дж. Уінзема [147], Ю.В. Чугаєвського [149], Ю.К. Енгельбрехта, У.К. Нігула [151], [191] та інших.

Теорія поширення пружних хвиль має багато наукових напрямків. Один з них – теорія поширення пружних хвиль в шаруватих середовищах.

1.1. Хвилі у шаруватих середовищах

Конструкції, що мають шарувату структуру, широко застосовуються в сучасній техніці, будівництві тощо. Ці конструкції зазвичай складаються з матеріалів з істотно різними фізико-механічними властивостями, що забезпечують високу міцність, жорсткість, різного роду захист (тепловий, хімічний, радіаційний та ін..) від небажано впливу оточуючого середовища..

Значний поштовх до широкого поширення багат шарових конструкцій був даний прогресом в області нових композитних матеріалів. Технологічні прийоми, що застосовуються при їх створенні (наприклад, намотування і пряме пресування), такі, що композиції, які при цьому виходять, складаються з ряду шарів.

Крім того, утворення шаруватого характеру можуть мати як штучну, так і природню структуру (океан, атмосфера, земна кора і т.д.).

Шаруваті середовища відіграють важливу роль у задачах сейсмології, геофізики, акустики, в будівництві та інших областях науки і техніки.

Значний вклад в теорію поширення пружних хвиль в шаруватих середовищах внесли такі вчені як Л. Брілюєн [22], Р. Крістенсен [98, 160, 161], Л. А. Молотков [115 – 119], С. М. Ритов [135, 136], Я. Я. Рушицький, І. С. Цурпал [134], Ч. Т. Сан, Дж. Д. Ахенбах, Дж. Герман [138, 139], М. О. Шульга [150], G. Balanis [156], T. J. Delph, G. Herrmann, R. K. Kaul [164, 165], W. Kohn [185, 186], G.W. Postma [194], C. Sve [202 – 204], J. E. White, F. A. Angana [211] та інші. Кількість робіт в цій галузі науки досить велика і вище приведений перелік – незначна її частина.

Розглядалися різні моделі шаруватого середовища, напрями поширення пружних хвиль, різні методи розв'язку поставлених задач, отримано ряд суттєвих результатів.

Досить повно теорія поширення хвиль в шаруватих середовищах викладена в монографіях [21, 150, 167]. Цікаві результати, що відносяться до теорії поширення хвиль в шаруватих тілах періодичної структури, представлені

в монографії А.Н. Шульги [150]. В роботі представлена розвинута теорія поширення пружних та електромагнітних хвиль в регулярно-шаруватих середовищах з плоскими та викривленими границями розділу, проведено дослідження поверхневих ефектів в регулярно-шаруватих середовищах та проникнення акустичних збуджень через регулярно-неоднорідну перешкоду.

У другій половині ХХ століття в теорії поширення пружних хвиль науково-технічний прогрес ініціював дослідження задач, які не можуть бути вирішені у рамках класичної лінійної теорії пружності. Істотний розвиток отримала загальна нелінійна теорія поширення пружних хвиль, а також різні її спрощені варіанти, орієнтовані на аналіз конкретних проблем науки і техніки.

Однією з цікавих і актуальних проблем, аналіз якої неможливо провести у рамках класичної лінійної теорії поширення пружних хвиль, є теорія поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями. Ця теорія має досить широке коло прикладних аспектів. Механіка матеріалів і елементів конструкцій, геофізика, сейсмологія, механіка композитів, механіка гірських порід, біомеханіка, неруйнівні методи визначення напружень і ряд інших – такий далеко не повний перелік наукових напрямів фундаментального і прикладного характеру, в яких виникають проблеми, пов’язані з необхідністю дослідження впливу початкових (чи залишкових) напружень або деформацій.

У сучасному уявленні теорія пружності з початковими напруженнями вперше викладена в роботах [157, 209]. Подальший свій розвиток ця теорія отримала в статтях В. Прагера [195], А. Гріна, Дж. Адкінса [43], А. Гріна, Р. Рівліна і Р. Шилда [171], М. Біо [158, 159], В. В. Новожилова [123] та інших.

Детальний аналіз становлення і розвитку теорії пружності для тіл з початковими напруженнями проведений в статтях О. М. Гузя [60, 76].

Різні питання теорії пружності для тіл з початковими напруженнями розглянуті в монографіях В. В. Болотіна [20], А. І. Лур’є [105], Л. І. Седова [140], К. Трусдела [146], О.М. Гузя [54, 78, 80 – 82, 84, 178], О. М. Гузя, О. П. Жука, П.Г. Махорта [47], О. М. Гузя, Ф.Г. Махорта, О. Й. Гуці [45], О.М. Гузя, В.Д. Кубенка, М.А. Черевка [49] та інших.

Значний внесок в створення та розвиток теорії поширення хвиль в тілах з початковими напруженнями зробили Дж. Адкінс, С. Ю. Бабич, О. М. Багно, Ю. П. Глухов, А. Грін, М. А. Грінфельд, О. М. Гузь, І. О. Гузь, О. Й. Гуща, А. Е. Єремеев, О. П. Жук, , Я. О. Жук, В. П. Кушнір, Л. М. Кхань, В. К. Лебедев, П. Г. Махорт, А. А. Мовчан, С. С. Секоян, Н. А. Сітенко, Є. К. Суботіна, М. Хейз, Г. І. Щурук, S. D. Akbarov, B. Bernstein, H. Dimeray, J. N. Flavin, Yu. Iwashimizu, F. Murnaghan, R. S. Rivlin, M. Saito, R. T. Shield, E. S. Suhubi, S. Tang, T. Tokuoka, R. A. Toupin, C. Truesdell та інші вчені [1–18, 44, 47, 48, 50, 52, 53, 55 – 59, 63, 64, 67, 72 – 75, 77 – 81, 85, 86, 88 – 94, 99 – 104, 107 – 114, 141 – 145, 148, 152–155, 166, 168, 170 – 172, 176 – 180, 182, 183, 188, 190, 201, 205– 208, 210].

Велика кількість робіт по дослідженню поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями виконана співробітниками інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України під керівництвом академіка НАН України О.М.Гузя.

Огляд наявних в цій області робіт і детальний аналіз отриманих результатів до певної міри представлений в статтях С. Ю. Бабича, О. М. Гузя, О. П. Жука [10], А. М. Багно О. М. Гузя [18], О. М. Гузя [58, 79], S. D. Akbarov'a [155], а також в узагальнюючих монографіях [67, 78, 80, 81].

1.2. Хвилі у шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями

Шаруваті композитні матеріали - найважливіший клас композитів, що мають широкий спектр і унікальне поєднання таких цінних властивостей, як висока міцність, корозійна стійкість, електро- і теплопровідність, жароміцність, зносостійкість та ін. В наш час ці матеріали знаходять все більше застосування в суднобудуванні, автотракторобудуванні, приладобудуванні, металургійному, гірничодобувному, нафтовому, сільськогосподарському та ін. галузях машинобудування.

Для шаруватих композитних матеріалів періодичної структури в рамках тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями отримала розвиток теорія поширення пружних хвиль у випадку однорідного початкового напружено-деформованого стану.

В випадку шаруватих композитів для дослідження задач тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями застосовуються загальні розв'язки, що викладені в монографіях О.М. Гузя [68, 69, 80, 82 – 84, 178] та інших. Отримані результати можна об'єднати в наступні три групи [79].

До першої групи відносяться публікації О.М. Гузя [48, 51, 61, 62, 70, 71, 78] та інші, в яких розглянуті питання приведення шаруватих композитних матеріалів з початковими напруженнями до однорідного середовища (питання гомогенізації) і питання визначення приведених (середніх) сталих для таких матеріалів. В цій групі основним результатом можна вважати строге доведення того факту, що навіть в довгохвильовому наближенні композитні матеріали з початковими напруженнями не приводяться до анізотропних (ортотропних) матеріалів, властивості яких можна описати в рамках класичної лінійної теорії пружності (для тіл без початкових напружень).

До другої групи відносяться публікації [73, 102 – 104, 124 – 132, 188] і ряд інших, в яких розглянуті питання поширення плоских хвиль в шаруватих стисливих і нестисливих матеріалах.

Вивченню закономірностей поширення плоских гармонічних хвиль у шаруватих стисливих та нестисливих матеріалах періодичної структури, яка складається з двох компонентів, присвячені роботи О. М. Гузя, Ле Мінь Кханя [73], Ле Мінь Кханя [102 – 104] та О.М. Панасюка [124 – 132].

Дослідження проведені для випадків поширення хвиль перпендикулярно до шарів, вздовж шарів і під довільним кутом до шарів при однорідних початкових напруженнях. Отримані дисперсійні рівняння та їх довгохвильові наближення для повздовжніх і поперечних хвиль, поляризованих в різних

площинах та досліджений вплив початкових напружень на швидкості поширення вказаних хвиль.

Всі результати одержані в загальному вигляді для пружного потенціалу довільної форми.

Можна вважати, що основні результати в цьому напрямку для шаруватих композитних матеріалів в рамках тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями отримані в такому ж обсязі, як і для шаруватих композитних матеріалів без початкових напружень (класична теорія).

У найповнішій формі результати про поширення плоских хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями представлені в монографіях О. М. Гузя [78, 81].

До третьої групи відносяться публікації [64, 145, 177] і ряд інших про поширення вісесиметричних хвиль та хвиль кручення в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями.

У роботах О. М. Гузя [78, 81, 177], О. М. Гузя, Н. А. Сітенка, О. П. Жука [64], Н. А. Сітенка [145] розглянуті питання про поширення в радіальному напрямку вісесиметричних хвиль та хвиль кручення в шаруватих композитних матеріалах періодичної структури.

В цих дослідженнях вважалося, що матеріали шарів є трансверсально-ізотропними (вісь ізотропії направлена вздовж нормалі до шарів), стисливими або нестисливими з довільною структурою пружного потенціалу. Додатково приймалися умови вісесиметричного початкового стану. З застосуванням загальних розв'язків (монографії [68, 69, 80, 82 – 84, 178] та інші), в загальній вищевказаній постановці отримані дисперсійні рівняння для стисливих і нестисливих матеріалів; отримано довгохвильове наближення окремо для квазіповздовжніх і квазіпоперечних хвиль для вісесиметричних хвиль і для симетричних і антисиметричних хвиль для хвиль кручення. Для потенціалу типу Мурнаган проведений чисельний аналіз отриманих дисперсійних рівнянь для порівняно жорстких матеріалів в широкому діапазоні частот.

Результати впливу початкових напружень на швидкості поширення вісесиметричних хвиль та хвиль кручення в шаруватих композитних матеріалах приведені для п'яти перших мод.

В результаті аналізу чисельних результатів отримані висновки, що відповідають висновкам отриманим для одного ізольованого шару. У найбільш повній формі вищевказані результати представлені в монографіях [78, 81].

1.3. Хвилі у шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів

В роботах [64, 73, 102 – 104, 145, 177, 188] результати отримані для випадку повного контакту шарів.

В реальних композитних матеріалах, як правило, існують різного роду дефекти на межі розділу шарів. Для оцінки впливу таких дефектів на закономірності поширення хвиль в композитних матеріалах О.М. Панасюк [124 – 132] розглянув такий граничний випадок контакту шарів як повне проковзування. З міркувань фізичного характеру слідує, що результати досліджень для інших випадків контакту шарів композитного матеріалу мають знаходитися між результатами, отриманими для крайніх випадків [78, 80, 81]. Для задач стійкості аналогічні оцінки для різних граничних умов розглянуті у монографіях [65, 66]. Такого ж роду оцінки використовуються також у механіці нанокомпозитів [46].

В роботах О. М. Панасюка [124 – 132] використаний метод дослідження, викладений в монографіях О.М. Гузя [78, 80, 81]. Дослідження проведено в рамках тривимірної лінеаризованої теорії поширення пружних хвиль в тілах з початковими напруженнями. Вважається, що композитний матеріал складається з двох компонентів, шари яких чергуються. На границях розділу шарів неперервні лише нормальні до шарів напруження та переміщення, а всі дотичні напруження рівні нулеві.

Для квазіпоперечної та квазіповздовжньої хвиль, що поширюються вздовж шарів стисливого композитного матеріалу, а також для квазіпоперечної хвилі, що поширюється вздовж шарів нестисливого композитного матеріалу отримані дисперсійні рівняння та їх довгохвильові наближення. Аналітичні результати приведені в загальній формі для матеріалів з пружним потенціалом довільної форми. Проведені чисельні дослідження розв'язків дисперсійних рівнянь для матеріалів з пружним потенціалом Мурнагана для стисливих тіл та пружним потенціалом Трелоара для нестисливих тіл.

Досліджено вплив початкових напружень та проковзування шарів на закономірності поширення плоских гармонічних хвиль. Порівняння результатів для граничних умов контакту (повний контакт та проковзування шарів) виявило наступні закономірності:

1) в широкому діапазоні частот відмінність між результатами для проковзування та повного контакту незначна, що дає можливість використовувати ці результати для двосторонніх оцінок;

2) в діапазоні частот, при яких зароджуються хвилі, в досить вузьких областях спостерігається суттєва відмінність у результатах, і тому вони не можуть використовуватися для двосторонніх оцінок у цих областях.

Сформульовані закономірності підтверджуються міркуваннями фізичного характеру, оскільки хвилі при зародженні мають нескінченні швидкості, а частоти їх зародження при проковзуванні та повному контакті шарів різні.

З вище наведеного огляду літератури можна зробити висновок про те, що поширення плоских гармонічних хвиль у шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями вивчено достатньо повно. Дослідження даного класу задач проведені для випадку повного контакту шарів та для випадку повного проковзування шарів.

Для вісесиметричних пружних хвиль аналогічні задачі розглядалися тільки для випадку повного контакту шарів. Виходячи з вище наведених міркувань доцільно провести дослідження закономірностей поширення вісесиметричних

хвиль в шаруватих композитних матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів.