

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Жіголевої Надії Володимирівни «Нелінійні ангармонічні ефекти при розповсюдженні поверхневих і локалізованих пружних хвиль в складених анізотропних тілах», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

*Актуальність теми дисертації, її зв'язок з державними науковими програмами.* Проблеми нелінійної хвильової динаміки анізотропних шаруватих середовищ належать до найактуальніших сучасних завдань механіки деформівного твердого тіла з огляду на їх важливе значення для фундаментальної науки та численні практичні застосування. Багато функціонально важливих елементів сучасної техніки, що перебувають під дією значних навантажень, часто мають шарувату структуру, а для матеріалів їх складових характерна анізотропія пружних характеристик. Одним із важливих методологічних підходів до вивчення хвильових явищ у таких композитних тілах є метод лінеаризації нелінійних рівнянь їх руху за малим геометричним чи хвильовим параметром. Цей підхід, що розвивається у дисертаційній роботі, дозволяє ефективно аналізувати кінематичні, силові та енергетичні характеристики нелінійних ангармонічних збурень у шаруватих структурах із різними фізико-механічними та геометричними параметрами.

Відомі на сьогодні дослідження за окресленою тематикою стосуються переважно питань вивчення нелінійних ангармонічних збурень у полях об'ємних, зсувних та поздовжньо-зсувних нормальних пружних хвиль деформацій в окремих типах кристалічних матеріалів при різних однорідних крайових умовах. Поряд з цим, подальшого поглибленого вивчення потребують важливі у теоретичному й прикладному сенсі проблеми дослідження характеристик нелінійних ангармонічних збурень у полях поверхневих та локалізованих пружних хвиль у напівобмежених та складених анізотропних кристалічних тілах з врахуванням геометричної та фізичної нелінійності. Тому актуальним є питання подальшої розробки підходів, зокрема аналітичних, до вирішення цих нових наукових завдань, на що спрямована дисертаційна робота.

Актуальність теми дисертації підтверджується не в останню чергу й тим, що протягом останніх років основні її матеріали виконувались згідно з науковими дослідженнями Інституту прикладної математики і механіки НАН України, зокрема за темами: «Якісні методи дослідження нелінійних механічних систем, їх розвиток та застосування до задач динаміки твердого тіла» (2006–2010 рр., державний реєстраційний номер 0106U000045); «Розробка конструктивних методів теорії керування і стійкості із застосуванням до задач машинобудування» (2011–2015рр., державний реєстраційний номер

0111U000483); «Керування та аналіз нелінійної динаміки коливальних механічних систем і процесів масопереносу» (2016–2018рр., державний реєстраційний номер 0116U002033).

**Наукова новизна результатів роботи.** Дисертаційна робота Жоголевої Н. В. присвячена розвитку нових підходів до розв'язання важливих наукових задач – дослідження вільних геометрично та фізично нелінійних коливань плоскопаралельних шаруватих анізотропних структур на основі запропонованої автором лінеаризованої моделі руху середовищ. Раніше при постановці аналогічних задач розглядались, як правило, ізотропні середовища. Автор, на основі запропонованої моделі, не тільки здійснила коректні математичні постановки нових класів задач, але і запропонувала ефективний аналітичний інструментарій для їх вирішення та розробила відповідне комп'ютерне забезпечення. В основу розроблених алгоритмів покладено, зокрема, продуктивний у розглянутих випадках метод малого параметра, методи розв'язання та аналізу однорідних та неоднорідних крайових задач для систем звичайних диференціальних рівнянь, методи комп'ютерної алгебри, що дозволили отримати аналітичні форми для розв'язків неоднорідних крайових задач, які визначають процес хвилеутворення у розглянутих пружних структурах. Необхідно зазначити, що дисертант на заключній стадії аналізу коливних процесів намагалася отримувати механічно прозорі, зручні у використанні вирази для досліджуваних механічних та енергетичних параметрів.

На увагу серед отриманих в роботі теоретичних результатів заслуговують системи рівнянь в переміщеннях, що описують вільні геометрично та фізично нелінійні коливання розглянутих анізотропних плоскопаралельних структур. Новими та важливими для інженерної практики є аналітичні співвідношення та отримані на їх основі механічні висновки, що описують і характеризують: нелінійні ангармонічні збурення, які генеруються при поширенні монохроматичних узагальнених поверхневих хвиль Лява, а також при поширенні двох взаємодіючих узагальнених хвиль Лява у хвилеводі, який складається з анізотропного пружного шару монокристалу класу  $m3m$  кубічної системи, розташованому на анізотропному півпросторі того ж класу симетрії; нелінійні ангармонічні збурення, що генеруються при поширенні монохроматичних локалізованих SH хвиль в хвилеводі у вигляді шару з монокристалу класу  $m3m$  кубічної системи, вміщеного з ідеальним або неідеальним механічними контактами між однотипних чи різнотипних півпросторів з монокристалічних матеріалів аналогічного класу анізотропії; нелінійні ангармонічні збурення при поширенні узагальнених локалізованих хвиль Стоунлі у хвилеводі, що складається з двох ідеально контактуючих анізотропних півпросторів із монокристалічних матеріалів кубічної системи; амплітудно-частотні залежності для кінематичних і енергетичних характеристик нелінійних других гармонік у декількох типах монохроматичних поверхневих і

локалізованих пружних хвиль, а також для їх вищих гармонік комбінаційного типу; нелінійні ефекти впливу фізико-механічних характеристик розглянутих хвилеводів на амплітудні рівні, форми хвильових рухів й енергетичні показники нелінійних других гармонік досліджуваних поверхневих і локалізованих пружних хвиль.

**Обґрунтованість та вірогідність наукових положень і результатів дисертації.** В дисертації достатня увага приділена питанню вірогідності та обґрунтованості отриманих результатів та висновків роботи. Автором строго витримані математичні формулювання задач, в основу яких покладено наближену модель руху анізотропного середовища із урахуванням геометричної та фізичної нелінійності. Математично грамотно, із залученням засобів комп'ютерної алгебри, здійснено усі аналітичні перетворення. Коректно використано аналітичні та числові методи розв'язування задач, що залучаються для досліджень. Достовірність результатів забезпечується також фізичною коректністю зроблених в дисертації висновків та їх збігом у часткових випадках з відомими у науковій літературі результатами інших авторів.

**Цінність отриманих результатів для науки та практики.** Теоретична цінність виконаних досліджень полягає перш за все у розвитку аналітичних методик розв'язання нових задач про вільні коливання плоскопаралельних складених анізотропних тіл з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності. Розв'язки отриманих в дисертації задач можуть бути покладені в основу вивчення процесів хвилеутворення у розглянутих композитних структурах, які при експлуатації зазнають значних динамічних навантажень. Зроблені в роботі висновки дозволяють залучити їх до вирішення актуальних проблем сучасної промисловості, зокрема при розробці нелінійних акустоелектронних пристроїв, при створенні нових засобів ультразвукової діагностики пружних середовищ з використанням нелінійних хвильових ефектів, при сейсмоакустичному моніторингу шаруватих геологічних структур. Отримані результати можуть бути використані у навчальних курсах з хвильової механіки деформівних середовищ для студентів університетів і технічних вузів.

Слід зазначити, що велика увага дослідженням в розглянутих напрямках приділяється у Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка, Львівському національному університеті ім. Івана Франка, Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Інституті гідромеханіки НАН України та інших установах, в яких могли б знайти застосування отримані в роботі результати.

**Повнота викладення результатів дисертації у фахових виданнях та в авторефераті і їх апробація.** Основні наукові результати дисертації достатньо повно відображені у 19 опублікованих наукових працях. Серед публікацій 6 статей, надрукованих у наукових виданнях з переліку, затвер-

дженого ДАК МОН України, та 13 публікацій у вигляді статей й тез у збірниках матеріалів наукових конференцій. Одну статтю опубліковано у журналі, що перекладається англійською мовою та реферується міжнародною наукометричною базою даних SCOPUS.

Отримані автором наукові результати і висновки пройшли апробацію на низці міжнародних та всеукраїнських конференцій та на наукових семінарах в Інституті прикладної математики і механіки НАН України, Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, в Інституті гідромеханіки НАН України та у Донецькому національному університеті МОН України.

Автореферат дисертації правильно і достатньо повно відображає загальну характеристику, зміст та висновки дисертації.

*Аналіз змісту дисертації та її результатів.* Дисертація Жоголевої Н.В. є цілісним та завершеним науковим дослідженням, у якому отримані нові важливі результати, що мають теоретичне та прикладне значення. Поставлена автором мета роботи досягнута. Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні з використанням сучасного математичного апарату.

Робота достатньо добре структурована, акуратно оформлена, наочно проілюстрована графіками різних механічних та енергетичних величин і параметрів, важливих для практики.

Оформлення дисертації та автореферату виконано відповідно до вимог ДАК МОН України.

По дисертаційній роботі зроблено наступні **зауваження**:

1. При числовому аналізі нелінійних ангармонічних збурень ключову роль відіграють розв'язки дисперсійних рівнянь, що представлені у першому розділі дисертаційної роботи. Слід було б описати, за допомогою яких числових методів отримуються дисперсійні криві для окремих мод лінійних спектрів та оцінити точність обчислень.
2. Необхідно було б більшу увагу у дисертаційній роботі приділити аналізу випадків, коли хвильові розміри міжфазних шарів малі. Як відомо, у цих випадках точність обчислення досліджуваних автором механічних та енергетичних параметрів зменшується.
3. В другому розділі дисертаційної роботи аналіз амплітудно-частотних залежностей для комбінаційних гармонік хвиль Лява проведено лише в окремих товщинних зрізах. Було б доцільним здійснити такий аналіз по всій товщині хвилеводу, зокрема у зрізах, де амплітудні параметри нелінійних збурень максимальні.
4. У дисертаційній роботі зазначено, що при отриманні аналітичних виразів для опису нелінійних збурень у розглянутих плоскопаралельних анізотропних структурах використовується розроблений автором програмний комплекс у середовищі спеціалізованого пакету Maple 12.

Слід було б детальніше зупинитися на його змісті і структурі, оскільки, на наш погляд, він є важливим елементом запропонованого в дисертації аналітико-числового підходу.

Однак, зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації і не зменшують міри обґрунтованості та достовірності її результатів і висновків.

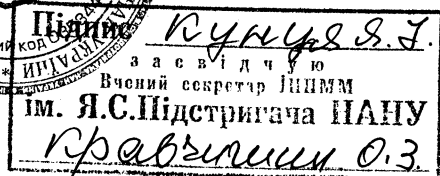
**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** Із приведеного вище аналізу дисертаційної роботи можна зробити наступний висновок.

**Висновок.** Вважаю, що дисертаційна робота Жоголевої Надії Володимирівни «Нелінійні ангармонічні ефекти при розповсюдженні поверхневих і локалізованих пружних хвиль в складених анізотропних тілах» відповідає усім вимогам, які ДАК МОН України ставить до кандидатських дисертацій. Її автор за моделювання вільних коливних процесів у плоскопаралельних складених анізотропних середовищах при врахуванні геометрично і фізично нелінійного деформування та розробку нових підходів їх дослідження, заслуговує присвоєння їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,  
доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
завідувач відділу обчислювальної  
механіки деформівних систем  
Інституту прикладних проблем  
механіки і математики

ім. Я.С. Підстригача НАН України

Я. Кунець Я.І. Кунець



*[Handwritten signature]*