

**ВІДГУК  
о фіційного опонента**

на дисертаційну роботу Заєць Юлії Олександрівни

«Екранування розривних хвиль в неоднорідних

трансверсально-ізотропних пружних середовищах»,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка

**Актуальність обраної теми дисертації:**

Одним з найбільш небезпечних природних катастрофічних чинників є землетруси, що призводять до руйнування житлових та промислових споруд, знищення інфраструктури, загибелі людей, важких екологічних наслідків. В цілому сейсмічно небезпечні зони давно відомі, сформульовані обґрунтовані гіпотези щодо виникнення землетрусів, є певний прогрес у передбаченні землетрусів. Однак, питання точного визначення сейсмічної небезпеки конкретної ділянки на поверхні землі (особливо це важливо для потенційно небезпечних промислових об'єктів, наприклад, АЕС), питання розробки заходів для зменшення сейсмічного впливу є досі дуже актуальними.

В якості прикладу зазначу, що зараз відбувається масштабна програма по визначеню сейсмостійкості вітчизняних АЕС, при цьому базою для таких досліджень є визначення інтенсивності максимального розрахункового землетрусу (тобто землетрусу, що відбувається в середньому 1 раз на 10 тис. років та за дії якого АЕС повинна бути безпечно зупинена), побудова відповідних акселерограм та спектрів відповіді. Визначення сейсмічності площини АЕС є надзвичайно складною, комплексною задачею, під час вирішення якої враховуються не лише глобальні геологічні особливості, але й регіональні та локальні, що характерні для місця розташування станції (зокрема, це зумовлює суттєві відмінності в оцінці інтенсивності МРЗ та побудованих спектрах навіть для відносно близьких об'єктів). Зрозуміло, що представлена робота дозволяє математично обґрунтовано враховувати такі локальні геологічні особливості та підвищити точність оцінки сейсмічності місця розташування важливих промислових об'єктів.

Одним з основних методів захисту будівельних споруд від сейсмічного впливу та дії інших динамічних явищ (зокрема, антропогенної природи), є використання екрануючих систем. Наприклад, ефективним захистом від негативного впливу пружних хвиль можуть слугувати вібраційні екрани у вигляді бар'єрів, які здійснюють заломлення та розсіювання поверхневих хвиль. Ці хвильові бар'єри можуть являти собою незаповнені траншеї, траншеї, що заповнені металевими ошурками та піском, а також побудовані в ґрунті стіни з бетону, шпунту або паль. Проте розвиток методів дослідження екранування споруд від сейсмічних хвиль, незважаючи на очевидну практичну значущість, на даний момент перебуває на початковому етапі. Основна складність цієї проблеми зумовлена великими просторовими масштабами досліджуваного явища. Сейсмічні хвилі, а також пружні вібрації ґрунту техногенного походження (вибухи, технічні роботи, будівництво) представляють собою низькочастотні коливання. Значення цих частот складає декілька десятків Гц і нижче, а довжини хвиль – від метрів і до кілометрів. Тому звичайні інженерні підходи до проблеми екранування таких довгохвильових сейсмічних впливів виявляються, як правило, малоефективними.



Представлена робота дозволяє теоретично дослідити ефективність зазначених екрануючих заходів, що є дуже актуальним, враховуючи важливість та небезпеку промислових об'єктів, для захисту яких дані сейсмічні екрані можна використовувати, а також недостатню вивченість на даний час динамічних явищ сейсмічної природи.

#### Наукова новизна і практичне значення отриманих результатів:

Слід зазначити, що сама по собі проблема забезпечення вібростійкості споруд ставиться і аналізується вже багато десятиліть. Головна задача в цьому напрямку завжди полягала в тому, щоб шляхом підбору матеріалів екрануючих пристрой та їх конструктивних особливостей, забезпечити стійкість споруди під дією динамічних струсів певної (обмеженої) інтенсивності. Однак задача, поставлена в дисертаційній роботі Ю.О. Заєць, має також і дещо іншу мету – розробити математичний апарат для вибору таких структурних зон в геологічному середовищі для будівництва відповідальних споруд, в яких наявні неоднорідності (неперервні або шаруваті) механічних властивостей забезпечували б відхилення сейсмічних та інших хвиль, що призводить до зменшення впливу динамічних ефектів на об'єкти, що потребують подібного захисту.

Такий підхід є новим навіть у випадках, коли досліджувані пружні середовища є ізотропними. В дисертації задача екраниування поставлена для неоднорідних (градієнтних) та анізотропних середовищ, що ще більше підкреслює новизну обраної теми дисертації. В роботі вивчаються два аспекти цієї задачі – екраниування об'єкта за рахунок цілеспрямованого відхилення хвильових променів в градієнтних середовищах та їх послаблення в результаті відбиття-заломлення ударної хвилі на границях розділу шарувати-неоднорідних анізотропних пружних середовищах.

Практичне значення обраного підходу полягає в тому, що в цьому випадку не потрібно споруджувати вартісні (та, як правило, неефективні) штучні захисні споруди, а можна обмежитись аналізом геологічних умов в досліджуваному регіоні та обґрунтовано вибрати для будівництва ділянку, для якої сейсмічні хвилі відхиляються та гасяться на природних неоднорідностях. Як зазначено в дисертації, такі неоднорідності можуть бути природними, а також створюватись штучно у вигляді плоских тріщин, що відділяють об'єкт від основного масиву середовища. Також робота актуальна для визначення рівня сейсмічної небезпеки площин з відповідальними, потенційно небезпечними спорудами та об'єктами, з врахуванням її локальної геологічної структури.

#### Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень та отриманих результатів:

Для дослідження процесів поширення розривних хвиль в анізотропних середовищах та їх трансформування на градієнтних та шаруватих неоднорідностях в дисертаційній роботі використовуються рівняння анізотропної динамічної теорії пружності. Побудова розв'язків цих рівнянь здійснюється за допомогою нульового наближення променевого методу. Даний метод є обґрунтованим, перевіреним та часто вживаним в геометричній оптиці та динамічній теорії пружності,

Криволінійні хвильові фронти визначаються як геометричне місце точок, в яких вектор фазової швидкості є однаковим на криволінійних хвильових променях. Вони будується чисельним інтегруванням, побудованих звичайних диференціальних рівнянь ейконала, за методом Рунге-Кутта. При цьому величина

роздріву деформацій на хвильовому фронті обчислюється в результаті врахування нульового члена розкладу польових функцій в ряд Тейлора вздовж променя. Важливо зазначити, що такі розрахунки є досить складними, що пов'язано з криволінійністю хвильових променів, геометрична збіжність або розбіжність яких і визначає зміну інтенсивності хвилі на її фронтах. Для шарувато неоднорідних середовищ проводяться спеціальні дослідження з розрахунків інтенсивностей падаючих, відбитих та заломлених хвиль. Вони здійснюються на основі узагальнених рівнянь Снеліуса з виділенням особливих випадків, в яких ці рівняння вироджуються. Такі ефекти пов'язуються з явищем квазіповного внутрішнього відбиття.

Достовірність наукових положень та висновків підтверджується строгостю та коректністю постановок вихідних задач; вибором високоточного методу числового інтегрування диференціальних рівнянь; тестовою перевіркою збереження повної енергії деформівної системи при перетворенні хвиль на неоднорідностях пружного середовища та якісною узгодженістю результатів розрахунків з даними, отриманими іншими авторами при граничних значеннях характерних параметрів.

#### Повнота викладу результатів досліджень у наукових фахових виданнях:

Проведені в дисертаційній роботі дослідження виконані у відповідності до планів науково-дослідних робіт кафедри вищої математики Національного транспортного університету. Робота підготовлена на високому науково-технічному рівні та оформлена згідно вимог ДАК України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Вона містить значний об'єм графічного матеріалу, який ілюструє основні особливості перебігу досліджуваних явищ. Мова та стиль викладу матеріалу є логічно послідовними та аргументованими. Вони відповідають загальноприйнятій науково технічній термінології. Зміст дисертації та автореферату повністю є ідентичними.

За темою дисертації автором опубліковано 23 роботи. Серед яких одна монографія, одна публікація у зарубіжному виданні, дві статті у наукометричному журналі, який перекладається англійською мовою видавництвом «Springer», одинадцять статей у фахових виданнях України, внесених до переліку Міністерства освіти і науки України, і вісім публікацій у збірниках матеріалів та тез на міжнародних та вітчизняних конференціях. Публікації та автореферат дисертації повністю відповідають її змісту.

Робота оформлена добре, вона містить значний обсяг графічної та табличної інформації, що є всебічно проаналізованою.

#### Зauważення до дисертаційної роботи:

1. Виконані дослідження були проведені в рамках нульового наближення променевого методу. Такий підхід дає змогу відстежити і проаналізувати перебудову фронтів розривних хвиль та обчислити значення стрибків деформацій (напружень) на фронтах. При цьому залишаються невідомими значення хвильових характеристик позаду фронту. Хоча така методика дає змогу встановити найзагальніші закономірності явищ перебудови, відбиття та екранування розривних хвиль, проте було б цікаво знати профіль хвилі і за її фронтом. Так, наприклад, наступне перве наближення променевого методу дає змогу визначити зменшується чи, навпаки, збільшується хвиля за її фронтом. Друге наближення дозволяє встановити характер цієї зміни, тобто кривизну профілю фронту. Тому

роздріву деформацій на хвильовому фронті обчислюється в результаті врахування нульового члена розкладу польових функцій в ряд Тейлора вздовж променя. Важливо зазначити, що такі розрахунки є досить складними, що пов'язано з криволінійністю хвильових променів, геометрична збіжність або розбіжність яких і визначає зміну інтенсивності хвилі на її фронтах. Для шарувато неоднорідних середовищ проводяться спеціальні дослідження з розрахунків інтенсивностей падаючих, відбитих та заломлених хвиль. Вони здійснюються на основі узагальнених рівнянь Снеліуса з виділенням особливих випадків, в яких ці рівняння вироджуються. Такі ефекти пов'язуються з явищем квазіповного внутрішнього відбиття.

Достовірність наукових положень та висновків підтверджується строгостю та коректністю постановок вихідних задач; вибором високоточного методу числового інтегрування диференціальних рівнянь; тестовою перевіркою збереження повної енергії деформівної системи при перетворенні хвиль на неоднорідностях пружного середовища та якісною узгодженістю результатів розрахунків з даними, отриманими іншими авторами при граничних значеннях характерних параметрів.

#### Повнота викладу результатів досліджень у наукових фахових виданнях:

Проведені в дисертаційній роботі дослідження виконані у відповідності до планів науково-дослідних робіт кафедри вищої математики Національного транспортного університету. Робота підготовлена на високому науково-технічному рівні та оформлена згідно вимог ДАК України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Вона містить значний об'єм графічного матеріалу, який ілюструє основні особливості перебігу досліджуваних явищ. Мова та стиль викладу матеріалу є логічно послідовними та аргументованими. Вони відповідають загальноприйнятій науково технічній термінології. Зміст дисертації та автореферату повністю є ідентичними.

За темою дисертації автором опубліковано 23 роботи. Серед яких одна монографія, одна публікація у зарубіжному виданні, дві статті у наукометричному журналі, який перекладається англійською мовою видавництвом «Springer», одинадцять статей у фахових виданнях України, внесених до переліку Міністерства освіти і науки України, і вісім публікацій у збірниках матеріалів та тез на міжнародних та вітчизняних конференціях. Публікації та автореферат дисертації повністю відповідають її змісту.

Робота оформлена добре, вона містить значний обсяг графічної та табличної інформації, що є всебічно проаналізованою.

#### Зauważення до дисертаційної роботи:

1. Виконані дослідження були проведені в рамках нульового наближення променевого методу. Такий підхід дає змогу відстежити і проаналізувати перебудову фронтів розривних хвиль та обчислити значення стрибків деформацій (напружень) на фронтах. При цьому залишаються невідомими значення хвильових характеристик позаду фронту. Хоча така методика дає змогу встановити найзагальніші закономірності явищ перебудови, відбиття та екранування розривних хвиль, проте було б цікаво знати профіль хвилі і за її фронтом. Так, наприклад, наступне перше наближення променевого методу дає змогу визначити зменшується чи, навпаки, збільшується хвиля за її фронтом. Друге наближення дозволяє встановити характер цієї зміни, тобто кривизну профілю фронту. Тому

можна рекомендувати автору дисертації надалі дослідити розглянуті процеси в більш високих наближеннях.

2. В роботі встановлено, що одним з характерних явищ, супутніх процесам взаємодії розривної хвилі з площею контакту двох пружних середовищ з відмінними фізичними властивостями, є ефект квазіповного внутрішнього відбиття падаючої хвилі. Показано, що в цьому випадку напруження, в рамках ідеальної теорії пружності, прямує до нескінченості і тому такий стан автором означений як критичний. Обчислювальний процес після настання такого моменту закінчується. Однак на практиці дифракція розривної хвилі на границі контакту середовищ та її перебудова продовжуються і в закритичній області. Як правило, в теорії нелінійних систем такі закритичні стани досліджуються методами зміни ведучого параметра. Можна побажати автору надалі дослідити ці закритичні стани розривних хвиль.

3. Хоча основним практичним результатом дисертаційної роботи є комп'ютерна програма, в тексті дисертації їй приділяється дуже мало уваги.

4. Дисертант розглядає окремо два випадки неоднорідностей: коли властивості змінюються неперервно та коли неоднорідності є шаруватими, тобто властивості матеріалів змінюються стрибкоподібно. Доцільним було б проаналізувати граничні, переходні випадки, чи забезпечується в такому випадку неперервність рішення при переході від однієї задачі до іншої.

5. Доцільним було б більш детально зупинитись на аспектах практичного використання отриманих результатів та розробленої програми. Наприклад, дослідити можливості методу для уточнення рівня сейсмічної небезпеки на ділянці, тощо.

6. До тексту дисертаційної роботи та автореферату можна висказати стилістичні та термінологічні зауваження.

- В роботі та авторефераті автора зустрічаються різні назви одного й того ж явища: «площа з'єднання», «площа розділу». Бажано, щоб дисертант прокоментував доцільність використання такої термінології.

- На даний момент для опису інтенсивності землетрусів використовується зворот «землетрус магнітудою 6», без використання слова «бал».

- На думку опонента, фрази про «невідомі причини землетрусів» сформульовані занадто категорично та можуть здатися необґрунтованими, хоча цьому аспекту взагалі не потрібно приділяти увагу.

- Деякі речення побудовані занадто складно та у стилі, що не є характерним для науково-технічних робіт.

Вказані недоліки не знижують загальної позитивної оцінки наукового та практичного змісту дисертаційної роботи.

#### Висновки:

Дисертаційна робота Заєць Юлії Олександровни «Екранування розривних хвиль в неоднорідних трансверсально-ізотропних пружних середовищах» є завершеною науковою працею. В ній отримано нові наукові і практичні результати, які в сукупності можна кваліфікувати як суттєвий внесок у розвиток будівельної механіки для дослідження явищ поширення та перетворення еволюціонуючих фронтів розривних хвиль з метою виявлення сейсмонебезпечних для будівництва зон та захисту підземних та наземних споруд від впливу динамічних хвиль.

В цілому обсяг проведених робіт та досліджень є дуже великим з надзвичайно високим науковим рівнем. Розв'язана задача є досить складною як в

теоретичном, так і в технічному плані, при цьому реалізована комп'ютерна програма є свідоцтвом того, що розроблений метод рішення є ефективним.

Підсумовуючи все вищевказане, вважаю, що дисертаційна робота Ю.О. Заєць за обсягом, структурою, науковим рівнем виконаної роботи, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їхньої достовірності та наукової новизни повністю відповідає усім вимогам, встановленим ДАК Міністерства освіти і науки України для дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.17 – будівельна механіка, а її автор, Юлія Олександрівна Заєць, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент,  
старший науковий співробітник  
відділу фізичних основ міцності і руйнування  
Інституту проблем міцності  
ім. Г.С. Писаренка НАН України  
кандидат технічних наук



A.C. Батура

