

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

***Щербак Тетяни Миколаївни***

**“Трансформація поверхневих гравітаційних хвиль на донних перешкодах”,**

представленої на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

зі спеціальності 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми

Аналіз сучасної зарубіжної та вітчизняної наукової літератури свідчить про наявність стійкої тенденції, яка пов'язана з необхідністю своєчасного розв'язання прикладних задач. Багато з цих задач безпосередньо пов'язані з моделюванням і аналізом різних фізичних течій, які описуються складними нелінійними диференціальними рівняннями з частинними похідними і з параметрами, які в даний час вдається тільки оцінити. Беручи до уваги складність геометрії фізичних течій різного масштабу, більшість таких задач може бути розв'язано сьогодні лише чисельно. Вони вимагають певних обчислювальних ресурсів і акуратності в алгоритмічній і чисельній реалізаціях. Однак не завжди чисельне розв'язання задач прикладної гідромеханіки дозволяє досить повно провести аналіз особливостей фізичних процесів, встановити загальні тенденції і отримати кількісні оцінки. З цих позицій аналітичні та чисельно-аналітичні розв'язки мають цілий ряд певних переваг.

До числа таких задач відносяться задачі про взаємодію поверхневих гравітаційних хвиль з перешкодами різної геометрії. Глибоке розуміння фізичних особливостей процесів, які виникають на вільній поверхні, відкриває нові можливості для дослідників, конструкторів і інженерів для контролю і управління хвильовими процесами на вільній поверхні рідини при різних умовах руху твердих тіл, різних пристроїв і донних конструкцій. Точний розв'язок таких задач, а в деяких випадках і оцінки фізичних полів, можуть в кінцевому підсумку надати істотну допомогу у вирішенні однієї з важливих проблем в гідромеханіці, а саме з розробкою гідротехнічних споруд різного призначення в умовах хвильового навантаження. Ця проблема тісно пов'язана з проблемою екологічної безпеки країни.

Інтенсифікація освоєння шельфової зони морів призводить сьогодні до необхідності розробки і установки штучних споруд для захисту берегової лінії та гідротехнічних споруд і конструкцій від руйнуючої дії поверхневих хвиль. Основним їх призначенням є розсіювання поверхневих хвиль, пов'язане з дисипацією енергії хвильового процесу.

З цих позицій, розв'язання задачі про трансформацію поверхневих хвиль на донних перешкодах представляє сьогодні певний науковий і практичний інтерес.

**Актуальність теми** досліджень обумовлена широкими перспективами застосування чисельно-аналітичних методів при розв'язанні ряду прикладних задач механіки суцільного середовища, які пов'язані з контролем і

управлінням взаємодією поверхневих гравітаційних хвиль з різними донними конструкціями в гідромеханіці, транспорті, перспективних технологіях, екології. Глибоке розуміння особливостей розвитку хвильових процесів на морській поверхні може, в кінцевому підсумку, стимулювати відкриття нових рішень і можливостей в інженерній діяльності при проектуванні різних стаціонарних гідротехнічних споруд і конструкцій.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації було виконано в інституті гідромеханіки Національної академії наук України в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи (номер держреєстрації 0112U000293).

Метою дисертаційної роботи є виявлення загальних закономірностей взаємодії поверхневих гравітаційних хвиль з донними перешкодами різної геометрії на основі математичного апарату розв'язання крайових задач в теорії аналітичних функцій.

**Об'єктом дослідження** є процеси поширення і трансформації поверхневих хвиль при взаємодії з донними спорудами у вигляді уступу, бару і бар'єру.

Предметом дослідження є особливості впливу геометрії донних хвилезахисних споруд на просторово-часові характеристики полів поверхневих хвиль.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи використовувалися коректні аналітичні методи розв'язання крайових задач з використанням декомпозиції областей, методу нормальних мод, що дозволив звести розглянуту задачу до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, яка розв'язувалася з використанням методу поліпшеної редукції.

Наукова новизна результатів роботи визначається:

- проведеною систематизацією значного обсягу літературних даних чисельно-аналітичних розв'язків задачі про взаємодію поверхневих хвиль з донними перешкодами;
- обґрунтуванням коректного розв'язання граничної задачі з відповідними граничними умовами шляхом декомпозиції досліджуваної області течії на підобласті і побудови локальних розв'язків в кожній підобласті методом нормальних мод із застосуванням процедури зрощування розв'язків на границях;
- подальшим розвитком чисельно-аналітичних методів розв'язання задач трансформації поверхневих хвиль над перешкодами за рахунок адаптації методу поліпшеної редукції до хвильових задач гідродинаміки, який дозволив підвищити точність проведених практичних розрахунків;
- встановленими кількісними даними значень коефіцієнтів відбиття і проходження поверхневих хвиль над донними перешкодами різної геометрії;
- виявленою залежністю висоти симетричної перешкоди і зміщення хвильових чисел, при яких спостерігається повне відбиття хвиль. Показано, що відсутність симетрії в геометрії донної перешкоди призводить до осциляції коефіцієнту відбиття, його значення в точках локального мінімуму

відрізняються від нуля, на відміну від симетричного випадку, при якому коефіцієнти відбиття можуть досягати нульового значення;

- чисельними розрахунками трансформації спектрів поверхневих хвиль при поширенні над донною перешкодою. Показано, що взаємодія хвильового процесу з перешкодою супроводжується зменшенням довжини хвилі, що, в кінцевому підсумку, призводить до обвалення хвильової поверхні і дисипації енергії хвиль.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в можливості застосування виявлених особливостей поширення поверхневих хвиль над перешкодами різної геометрії та кількісних даних для розробки методів контролю та управління розвитком силових полів гідродинамічної природи при взаємодії тіл з вільною поверхнею рідини. Графічний матеріал і наведений аналіз параметрів поверхневих гравітаційних хвиль дозволяють глибше зрозуміти особливості нестационарної взаємодії тіла з вільною поверхнею, здійснювати пошук ефективних хвилезахисних конструкцій, оцінювати значення силових характеристик взаємодії тіл з рідиною в технічних пристроях різного призначення. Результати дисертаційної роботи становлять безсумнівний інтерес для дослідників в області гідромеханіки, зацікавлених фахівців в різних областях науки і техніки.

**Достовірність** наукових результатів дисертації забезпечується використанням загальноприйнятої моделі рідини, коректністю математичної постановки задач і застосуванням надійних аналітичних і чисельних методів для їх розв'язання, контрольованою точністю виконання граничних умов, гарною узгодженістю між собою теоретичних результатів і несуперечливістю отриманих результатів з відповідними опублікованими результатами інших авторів.

**Структура дисертації.** Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури. Робота містить 132 сторінки основного тексту, 36 рисунків і 1 таблицю. Список літературних джерел містить 98 найменувань.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано мету і задачі, об'єкт і предмет дослідження, вказано використані в дисертації методи досліджень, визначено наукову новизну і практичне значення роботи, сформульовано обґрунтування і достовірність наукових положень, зазначено особистий внесок здобувача в проведеній науковій роботі відповідно до вимог ДАК України до дисертаційних робіт.

**У першому розділі** дисертації проведено огляд літературних джерел щодо задачі трансформації поверхневих гравітаційних хвиль з донними перешкодами різної геометрії. Встановлено, що багато аналітичних і чисельно-аналітичних методів розв'язання задачі взаємодії хвиль з тілами мають досить вузькі рамки застосування, що викликано, з одного боку, численними припущеннями при постановці задачі і, з іншого боку, певною

обмеженістю застосування аналітичних і чисельних методів розв'язання задачі, що розглядається.

Автор виділив клас задач, в яких хвильові рухи розглядаються в локальних підобластях з вертикальними границями і постійною глибиною, сукупність яких становить область розглянутої течії. В таких умовах можна застосувати метод нормальних мод і звести задачу до розв'язання нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Увагу дисертанта було приділено існуванню особливостей у розподілі поля швидкості близько кутових точок твердих границь, які стають основною причиною поганої збіжності розв'язків і потребують суттєвого підвищення порядку системи рівнянь.

**У другому розділі** автор дисертаційної роботи формулює математичну постановку задачі трансформації поверхневих хвиль на одиночному уступі і приводить розв'язок в термінах потенціалу швидкості, застосовуючи метод декомпозиції і метод нормальних мод. В кінцевому підсумку задача зводиться до розв'язання нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, яка зазвичай розв'язується методом редукції. Однак наявність особливостей в точках спряження полів призводить до поганої збіжності отриманого розв'язку і, як результат, до появи великої помилки розрахунків полів в цій області течії.

В роботі запропоновано виділити існуючі особливості хвильового поля та визначити асимптотичні залежності коефіцієнтів розкладання потенціалу швидкості. Це дозволило автору істотно зменшити порядок системи лінійних алгебраїчних рівнянь щодо невідомих коефіцієнтів розкладання хвильового поля. Перевірка умов спряження полів в підобластях показала гарне виконання граничних умов.

Отримані розв'язки дозволили автору отримати значення коефіцієнтів відбиття і проходження в плоско-хвильовому наближенні. Показано, що ці вирази в наближенні довгих хвиль збігаються з відповідними формулами, представленими в науковій літературі.

**Третій розділ** дисертації присвячений виявленню закономірностей трансформації поверхневих хвиль на донній перешкоді кінцевої довжини з довільною глибиною до перешкоди і після неї. Автор формулює математичну постановку граничної задачі і використовує метод, запропонований в дисертаційній роботі. Відмінною особливістю задачі стала необхідність визначення асимптотичної поведінки коефіцієнтів розкладання хвильового поля на двох границях спряження полів в локальних областях. Громіздкі математичні перетворення дозволили автору отримати значення коефіцієнтів відбиття і проходження для симетричного і несиметричного випадку геометрії донної поверхні.

Певний інтерес представляють дослідження, що містяться в останній частині розділу, в якому проводиться аналіз резонансних явищ для хвильоводу відкритого типу. Зокрема, для симетричного випадку в рамках плоско-хвильового наближення автор виявила умови нульового відбиття хвиль від перешкоди. Слід зазначити, що ці умови відповідають відомим залежностям,

отриманим іншими авторами при використанні інших підходів до розв'язання задачі.

**У четвертому розділі** автор дисертації розглядає граничний випадок трансформації поверхневих хвиль на тонкому донному бар'єрі. Показано, що в цьому випадку сингулярність в особливій точці спряження стає кореневою. Дисертант формулює нові умови спряження і записує змішані граничні умови. Подальше застосування підходу, що використовується в роботі, до розв'язання крайової задачі з граничними умовами, що містять розрив першого роду, дозволили отримати значення коефіцієнтів відбиття і проходження.

Основну увагу автора зосереджено на перевірці граничних умов спряження хвильових полів в локальних областях. Показано, що застосування методу поліпшеної редукції, в якому враховуються асимптотичні властивості коефіцієнтів розкладання, призводить до більш точного визначення поля потенціалу швидкості в області, прилеглої до вузького бар'єру.

**П'ятий розділ** присвячено вивченню трансформації спектру нерегулярного хвильового процесу при взаємодії з донною перешкодою. Автор дисертації розглядає одну з відомих моделей спектру поверхневого хвилювання JONSWAP, призначеного для опису спектру вітрових хвиль в наближенні глибокої води, і деякі його уточнення, відомі зі світової наукової літератури. У дисертації використовується спектр ТМА, який застосовує поправку Китайгородського для розширення області застосування спектру JONSWAP на випадок кінцевої глибини.

Аналіз отриманих в дисертації чисельних даних показує, що при проходженні поверхневих гравітаційних хвиль над перешкодою відбувається суттєва зміна спектру хвиль. У цьому випадку має місце одночасне підвищення амплітуди хвиль і відносне їх зміщення в область високих частот. Така тенденція в поведінці поверхневих хвиль завжди супроводжується їх обваленням і дисипацією енергії хвиль.

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

Текст дисертації написано акуратно, цілком логічно і чітко. Автореферат написаний досить докладно, добре проілюстрований і повністю відображає зміст дисертації. Всі основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені в авторефераті. Автореферат відповідає вимогам МОН України.

В якості зауважень по роботі необхідно зазначити наступне:

1. На мій погляд, незвично представлено поведінку кривої 1 на рис.4.3 в області значень  $60 < N < 140$ . Величина помилки  $\Delta$  в методі поліпшеної редукції повинна бути завжди менше в порівнянні з методом простої редукції.

2. В роботі показано, що коренева сингулярність в поле швидкості виникає в задачі про взаємодію поверхневих хвиль над тонким бар'єром. У той же час, в аналогічній задачі про взаємодію хвиль з перешкодою кінцевої довжини сингулярність має ступеневий характер. Чи існує граничний перехід

між задачами? Іншими словами, чи можна зменшувати довжину перешкоди з метою виходу на випадок тонкого бар'єру?

3. Другий розділ дисертації починається з підрозділу “2.1 Вступ”, в якому автор знову розглядає основні проблеми розв'язання поставленої задачі і обґрунтовує необхідність застосування методу поліпшеної редукції, зокрема наводиться посилання на роботу [66]. Ці аспекти проблеми вже обговорювалися в розділі 1 (стор.21). Таке часте нагадування проблем чисельно-аналітичного розв'язання задачі є недоречним. Частина тексту розділу 2.1 (починаючи зі стор.36) в цьому розділі дисертаційної роботи є необхідною і цілком виправданою.

4. Дисертація виглядала б значно краще, якби автор завершувала кожен задачу графіком розподілу поля тиску на твердій поверхні перешкоди, тим більше, що така можливість є. У цьому випадку дисертаційна робота мала б високу практичну цінність для конструкторів і розробників гідротехнічних споруд.

5. На мій погляд, не слід дисертанту використовувати вираз “як правило” при формулюванні положень розділу “Цілі досліджень”. Такий стиль викладення свідчить про наявність деякого сумніву. Використання стверджувальної форми речень істотно спрощує читання і розуміння цілей досліджень, проведених у дисертаційній роботі.

6. У знаменнику виразу (2.4) записано  $\cosh kh$ . На мій погляд, тут має місце помилка. У знаменнику має бути вираз  $\cosh kH$ . Аналогічно, в виразі після формули (2.8) записано систему ортогональних функцій, яка починається з  $\cos k_1(z+H_1)$ . Насправді система починається з  $\cosh k_1(z+H_1)$ .

7. Дисертаційна робота не позбавлена лексичних помилок. Наприклад, автор пише (стор.4, останній абзац): “Це дозволяє використовувати чисельно-аналітичний підхід до розв'язання подібних завдань”, і (стор.56, перший абзац): “...в ряд по власних функціях завдання”. Нагадаю, в українській мові “вирішують завдання”, але “розв'язують задачі”.

8. Дисертаційна робота не позбавлена текстових помилок. На стор.39 наводиться посилання на рис.2. Ймовірно, мова йде про рис.2.1. У дисертаційній роботі наведено дві формули з однаковою нумерацією (2.40). На стор.50 автор посилається на “пунктирну криву” на рис.2.2. Очевидно, дисертант мав на увазі “штрихову лінію”. У підписах до рис.2.3 і 2.4 встановлюється значення  $H_2$ , які повинні закінчуватися значенням “0.7”, а не “07”.

Вважаю за необхідне сказати, що висловлені зауваження суттєво не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи і не зменшують цінності отриманих в ній результатів.

Основні результати дисертаційної роботи повністю відображені в 8 статтях, з них 5 статей опубліковані в провідних академічних виданнях, передбачених переліком ДАК України. Одну статтю опубліковано в журналі, який входить в наукометричну базу даних EBSCO International Services, Index Copernicus International, SSM, одна стаття увійшла в наукометричну базу

Zentralblatt Math. Автор опублікувала 2 тези в матеріалах профільних міжнародних конференцій.

Все вище сказане дозволяє кваліфікувати розглянуту дисертаційну роботу як закінчену наукову роботу, яка в повній мірі відповідає вимогам ДАК України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук (відповідно до п.п. 9, 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013р.). Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми, має незаперечне наукове і прикладне значення, оскільки містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності роблять суттєвий внесок у вирішення важливої науково-прикладної проблеми гідродинаміки керованої і контрольованої взаємодії поверхневих гравітаційних хвиль з твердими тілами і конструкціями різного призначення.

Вважаю, що автор дисертації, **Щербак Тетяна Миколаївна** заслуговує присудження їй шуканого вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,  
професор кафедри

Автоматизації проектування енергетичних процесів і систем,

Теплоенергетичний факультет,

КПІ ім. Ігоря Сікорського

О.А. Гуржій

10 січня 2017р.

Київ, Україна

Підпис Гуржія О.А. підтверджую

Учений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського



А.А. Мельниченко