

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора В. В. Яковлева на дисертаційну роботу І. М. Мартиновського «Робота хвильових перетворювачів енергії в нерегулярному полі вітрових хвиль у шельфовій зоні», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми

Актуальність теми.

Один із напрямків у підвищенні ефективності роботи хвильових перетворювачів енергії (ХвПЕ), їх надійності та в решті решт здешевлення отриманої електроенергії є експериментальні дослідження ХвПЕ різних типів. Проектування та дослідження роботи ХвПЕ вимагає наявності даних зі статистики режимів хвиль та динаміку взаємодії пристроїв з хвилями, що при експериментальному дослідженні є досить тривалим і коштовним процесом.

З іншого боку, більш дешевшим та швидким напрямком здешевлення хвильових електростанцій може бути їх теоретичне дослідження, яке полягає у прямому гідродинамічному моделюванні нерегулярних вітрових хвиль у шельфовій зоні та гідродинамічних навантажень і динамічних реакцій ХвПЕ на дію хвиль. Тому розробка наближених моделей та методів для розв'язання задач хвильової енергетики – актуальна задача на даний час.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукову новизну дисертаційного дослідження становлять такі основні результати:

1. Розроблена методика динамічного розрахунку за часом реакцій та енергетичних показників ХвПЕ чотирьох базових типів при дії нерегулярних вітрових хвиль у шельфовій зоні з урахуванням нелінійних ефектів.

2. Удосконалено спектральну модель лінійних нерегулярних хвиль за рахунок: 1) використання 2-х пікового 6-ти параметричного спектру Хасельмана, 2) впровадження нерівномірної частотної дискретизації, яка дозволяє зменшити на порядок кількість розрахунків елементарних гармонік та 3) отримано новий лінійний розв'язок крайової задачі теорії хвиль, який, на відміну від існуючого, дозволяє усувати виявлені похибки спектральної моделі.

3. Узагальнено для нерегулярних хвиль з обмеженою глибиною в нелінійному наближенні метод півзворотньої задачі.

4. Зроблена спроба узагальнити наближені нелінійні методи розрахунку хвильових навантажень, розроблені у корабельній гідродинаміці та океанотехніці при дії регулярних хвиль, та адаптувати їх до розрахунку динаміки коливань ХвПЕ чотирьох базових типів при дії нерегулярних вітрових хвиль на воді.

5. Порівняльними чисельними розрахунками чотирьох базових типів ХвПЕ показані закономірності для: а) енергетичних показників ХвПЕ при врахуванні нелінійних ефектів; б) базових схем перетворювачів, що є найбільш енергетично ефективними; в) параметрів, які визначають розміри та положення робочих елементів перетворювачів.

Зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами,

планами, темами. Дослідження, що складають дисертаційну роботу, виконано відповідно до вимог Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» №3715-VI від 08.09.2011 (редакція від 05.12.2012), ст. 4 «Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011-2021 роки», п. 1 «...впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії».

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації – 243 сторінки, у тому числі: обсяг основного тексту – 148 сторінки, 107 рисунків і 16 таблиць, 19 сторінок – список використаних джерел з 161 найменувань, додаток – 30 сторінок.

У **вступі** сформульовані мета та задачі роботи, відзначено актуальність, новизну, теоретичне значення та практичну цінність роботи. Сформульовано положення, що виносяться на захист.

У **першому оглядовому розділі** представлено сучасний стан розвитку технологій використання енергії хвиль океанів та морів. Проведено аналіз причин появи і наслідків екологічних проблем у світі, які призводять до змін у кліматі, показано перспективні напрямки у вирішенні зазначених проблем за рахунок хвильової енергії. Виконано огляд моделей та методів у гідродинаміці вітрових хвиль, теорії корабля та океанотехніці, а також проведено стислий аналіз переваг і недоліків сучасних засобів обчислювальної гідродинаміки.

Другий розділ дисертаційної роботи представляє математичні моделі та методи досліджень, розроблені та застосовані до розв'язання обраних задач. Серед основних задач були визначені наступні: а) розробка фізико-математичних моделей та методів розрахунку гідродинамічних полів для нелінійних та нерегулярних вітрових хвиль на інтервалах квазістаціонарності; б) розробка методів розрахунку хвильових навантажень на елементи ХВПЕ з урахування нелінійних та нерегулярних ефектів при дії таких хвиль.

Для отримання гідродинамічних моделей нерегулярних вітрових хвиль розглянуто два наближення: лінійне та нелінійне. У першому наближенні застосовано спектральну техніку, а у нелінійному наближенні: 1) виконувався перехід до нелінійного хвильового профілю; 2) для розрахунку поверхневого поля швидкостей у нерегулярних хвилях з довільним спектром у шельфовій зоні було узагальнено та застосовано метод півзворотньої задачі; 3) за допомогою інтегралу Коші визначалися поле швидкостей та поле гідродинамічного тиску з глибиною – відомим інтегралом Коші-Лагранжа.

Для розв'язку другої основної задачі нелінійного розрахунку хвильових навантажень на робочі елементи ХВПЕ було залучено наближений підхід, який ґрунтується на припущеннях, що дозволили отримати гідродинамічні навантаження у вигляді хвильових сил Фруда-Крилова та збурених пристроєм гідродинамічних сил Хаскінда-Ньюмана через змінні за миттєвою частотою та осадкою прилучені маси та коефіцієнти демпфування.

У **третьому розділі** подано результати чисельного дослідження нерегулярних вітрових хвиль. Наведено дані стосовно довго термінової статистики вітрових та хвильових режимів на шельфах Чорного та Азовського

морів.

Виконано порівняння результатів розрахунку часових реалізацій нерегулярних хвиль із записами в реальних штормах у Північно-Західній Атлантиці. Отримано скориговані вирази для потенціалу швидкостей з метою подолання суттєвих похибок спектральної моделі в гідродинамічних полях тиску та швидкостей у при поверхневому шарі рідини. Показано різницю між значеннями вертикальної координати ζ_w лінійного та нелінійного профілів в часовій реалізації за 30 хв. і встановлено, що різниця між профілями може змінюватись від декількох сантиметрів до одного метра і більше. Такі зміни у хвильовому профілі, на думку автора, впливають на розрахунки навантажень на елементи ХвПЕ.

У четвертому розділі представлено результати розробки моделей та чисельні розрахунки динаміки коливань ХвПЕ наступних типів: 1) зануреної коливальної пластини, що реагує на поле горизонтальних швидкостей рідини у хвилях, 2) придонного кесона, що реагує на зміни хвильового тиску з глибиною, 3) поверхневого поплавця на важелі та 4) поверхневого ланцюжка плотів, які реагують на коливання вільної поверхні. Відповідно до кожного типу ХвПЕ було виконано: 1) розробку принципової схеми пристрою, 2) визначення його кінематики та рівнянь коливань, 3) підготовка за допомогою пакету FreeCAD геометрії для розрахунку, 4) визначення навантажень на робочі елементи пристроїв та чисельне інтегрування рівнянь коливань, 5) візуалізація та аналіз результатів розрахунку ХвПЕ у пакеті ParaView.

У завершальному п'ятому розділі виконано чисельний експеримент для пристроїв, що розглядались, при цьому, для кесону та коливальної пластини були виконані порівняння розрахункових даних потужностей з незалежними чисельними розрахунками аналогічних пристроїв.

Для кесону та коливальної пластини було проведено 3 варіанти розрахунків потужностей, при яких визначались: 1) лінійні навантаження при дії регулярних хвиль, 2) нелінійні навантаження при дії регулярних хвиль і 3) нелінійні навантаження при дії нерегулярних нелінійних хвиль.

Порівняння розрахунків для кесону та пластини з відповідними розрахунками інших авторів показали, що найкращі результати порівнянь були отримані при третьому варіанті розрахунків. Чисельні розрахунки для коливального поплавця на важелі показали, що перенесення шарнірної опори кріплення важеля з дна акваторії до рівня декількох метрів над вільною поверхнею дозволяє підвищити у чотири рази енерговідбір коливального поплавця. Чисельні розрахунки для ланцюгів плотів показали високу ефективність пристроїв даного типу. Виявлено, що більше ніж у два рази зростає потужність ланцюжка плотів, якщо використовувати змінну довжину плотів уздовж ланцюга.

Відповідно до проведеного дослідження роботи ХвПЕ чотирьох типів, автором були сформульовані практичні рекомендації щодо подальших досліджень покращення експлуатаційних характеристик ХвПЕ, зокрема: 1) організація роботи ХвПЕ у масивах; 2) застосування адаптивних схем ХвПЕ типу коливальних пластин із змінною прозорістю їх поля, змінних довжин

плотів, кесонів зі змінними демпфуванням і жорсткістю тощо, що дозволяє налаштовувати пристрої на діючі хвильові умови.

Практичне значення отриманих результатів. Створений у роботі комплекс обчислювальних програм з розрахунку динамічних реакцій та статистичних характеристик хвильових електростанцій, за умови доведення достовірності застосовуваних методик, може бути використано при проведенні варіантних розрахунків, виборі раціональних типів та співвідношень параметрів перетворювачів в залежності від району розташування станції.

Теоретичні результати, здобуті в дисертації, а також розроблене на цій основі методологічне, алгоритмічне та програмне забезпечення знайшли застосування в навчальному процесі Національного університету кораблебудування (НУК) протягом 2014-2015 рр при викладанні дисциплін «Моделювання виробничих процесів у суднобудуванні», «Математичне моделювання систем і процесів та методи оптимізації». Також, теоретичні результати даної дисертації знайшли застосування в навчальному процесі Миколаївського будівельного коледжу КНУБА при виконанні дипломного проектування, що підтверджено відповідними Актами впроваджень.

Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів, сформульованих у дисертації є недостатньою і підтверджується тільки за рахунок цілком прийнятного порівняння енергетичних характеристик конкретних типів ХВПЕ, розрахованих дисертантом, з результатами інших авторів.

Публікації за темою дисертації. Результати досліджень, сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації викладені в повному обсязі у 22 наукових працях, з яких 5 статей (у тому числі 2 без співавторів) у фахових виданнях, перелік яких затверджений ДАК України, 1 стаття у науково періодичному виданні Грузії, а також 16 тез міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Загальна кількість публікацій, а також видання, де вони були опубліковані, задовольняють вимогам до кандидатських дисертацій.

Зауваження до дисертаційної роботи. За змістом дисертаційної роботи Мартиновського І.М. слід зробити наступні зауваження:

1. Огляд сучасних методів стану розвитку використання енергії хвиль переважано зайвими відомостями, які не мають відношення до теми дисертації. Взагалі викладення матеріалу в дисертації нагадує науково популярну лекцію, а не наукове дослідження.

2. Відсутня постановка крайової задачі про взаємодію поверхневих гравітаційних хвиль з перешкодами, що коливаються. Не введені безрозмірні змінні, не оцінений вплив різних факторів і параметрів на хвильові навантаження, не вказані межі застосування методик, що пропонуються. Наприклад, що робити коли характерні розміри перешкод будуть співставні з довжиною хвиль, або набагато менше довжини хвиль та інше. Причому необхідно зауважити, що при більш короткій хвилі при навіть меншій її

висоті, навантаження на ХвПЕ може бути більшим, ніж розраховане за представленою в дисертації методикою. Що робити в цьому випадку? Давно відомі критерії – які режими реалізуються при взаємодії хвиль з перешкодами, які теорії хвиль при цьому потрібно використовувати. Наприклад критерій Кьюлегана-Карпентера. В дисертації про це нема ні слова.

3. Припущення, щодо можливості представлення хвильових навантажень у вигляді сил Фруда-Крилова та Хаскінда-Ньюмена для нелінійних хвиль необґрунтовано. На стор.78 в розділі 2.4.1.Класифікація та припущення для ХвПЕ написано: «Оскільки в рамках наближеного підходу до розрахунку гідродинамічних навантажень коректно врахувати нелінійні ефекти на вільній поверхні практично неможливо і тому будемо нехтувати усіма нелінійними членами у граничних умовах на хвильовій поверхні». Але разом з тим далі на наступній сторінці: «Проте нелінійні ефекти на зануреній поверхні елементів ХвПЕ,, будуть відповідним чином враховані». Чому? На якій підставі? Це ставить під сумнів всі подальші розрахунки динаміки ХвПЕ для нелінійних хвиль.

4. На рис 3.21-3.23 та ін.. представлені порівняння хвильових профілів в лінійному та нелінійному наближенні в розмірному вигляді. З цих графіків випливає, що довжина хвилі дорівнює 5.5м, а висота сягає 5 м. Таких хвиль в природі не існує.

5. При розрахунках навантажень на ХвПЕ у вигляді ланцюжка плотів для кожного наступного елементу не враховується зміна хвильового поля після обтікання попередніх елементів. Це може призводити до великих похибок в визначенні навантажень і динаміки коливань та, відповідно, завищених значень потужностей ХвПЕ.

6. Результати розрахунків представлені не для гідродинамічних характеристик, а для потужностей пристроїв перетворення енергії, що взагалі не характеризує гідродинамічні процеси, які відбуваються при взаємодії хвиль з складними гнучкими перешкодами. Тільки на двох графіках 4.21 і 4.22 (стор.153) представлені порівняння коефіцієнтів прилучених мас і демпфірування від якогось невідомого параметра kT , та і то з помилкою (на рис 4.21 по осі ординат відкладено λ_{ij} замість μ_{ij}).

Зазначені вище зауваження суттєво позначаються на якості результатів роботи, і викликають сумнів в достовірності представлених результатів.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам МОН України

Автореферат у повній мірі відображає основний зміст, результати та висновки дисертаційної роботи і є ідентичним положенням дисертації.

Наведені в авторефераті та дисертації публікації повністю висвітлюють основні наукові результати дисертаційного дослідження.

Оформлення дисертації і автореферату відповідають вимогам МОН України.

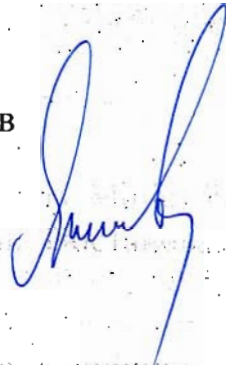
Тема дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми (технічні науки).

Вважаю, що актуальність теми і прикладна значимість дисертації «Робота хвильових перетворювачів енергії в нерегулярному полі вітрових хвиль у шельфовій зоні» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових

ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р. Рішення про присудження Мартиновському Івану Михайловичу присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми (технічні науки) може бути прийнято після отримання відповідей на зроблені зауваження та обговорення дисертації на засіданні Спеціалізованої вченої ради.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник
відділу гідродинаміки хвильових процесів
Інституту гідромеханіки НАН України,
доктор технічних наук, професор



В. В. Яковлев

23.01.2017р.

Підпис Яковлева В. В. засвідчую:

Вчений секретар

Інституту гідромеханіки НАН України
Доктор фіз.-мат. наук, професор



Н.С.Городецька