

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Оцінка енергоефективності застосування хвильових
гідроенергетичних перетворювачів для електропостачання
малопотужних споживачів**

Виконав: студент **6** курсу, групи **ЕТм-62**

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<hr/>	Пихач В.І. (прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/>	Белякова І.В. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<hr/>	Мовчан Л.Т. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<hr/>	Тарасенко М.Г. (прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/>	Габрусєв Г.В. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

« » 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

студенту Пихачу Василю Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінка енергоефективності застосування хвильових гідроенергетичних перетворювачів для електропостачання малопотужних споживачів

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 10 листопада 2023 року № 4/7-1042

2. Термін подання студентом роботи

24 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні параметри пристроїв для вимірювання енергетичного потенціалу хвиль та технічні характеристики енергоустановок для перетворення енергії хвиль в електричну енергію.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Розрахунково-дослідницький розділ.

3. Проектно-конструкторський розділ.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Загальний вигляд пристрою для вимірювання енергетичного потенціалу хвилі.

2. Будова пристрою для перетворення енергії хвиль в електроенергію.

3. Загальний вигляд дослідного перетворювача енергії хвиль.

4. Блок-схема системи енергозабезпечення споживачів.

5. Технічні характеристики інвертора і акумуляторних батарей енергетичної установки.

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 72 сторінки. В роботі міститься 20 рисунків, 43 формули і 7 таблиць.

Електропостачання малопотужних споживачів, особливо у віддалених сільських районах в руслах річок та у прибережних районах Чорного моря має ряд своїх особливостей, серед яких - розосередження споживачів з невеликим навантаженням на великій території, віддаленій від централізованих систем електропостачання, труднощі постачання електроенергією таких споживачів в основному пов'язані зі значною віддаленістю від генеруючих потужностей.

Виходом з цієї ситуації може стати використання енергії відновлюваних джерел, таких як перетворювачі енергії хвиль в електричну.

Розробка і вивчення таких перетворювачів, залежить від точного і достовірного знання величини і характеру навантаження споживача і від висоти та сили хвиль в місці встановлення перетворювача.

Метою кваліфікаційної роботи є електропостачання малопотужних споживачів прибережних районів, віддалених від централізованих мереж електропостачання.

Об'єктом дослідження є генерація електричної енергії перетворювачем хвильової енергії.

Предметом дослідження є принципи роботи перетворювача хвильової енергії, що використовується для живлення малопотужних споживачів.

Перелік ключових слів:

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, МАЛОПОТУЖНІ СПОЖИВАЧІ, ЕЛЕКТРО-ЕНЕРГІЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЕНЕРГІЇ ХВИЛЬ, ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ**с.**

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Оцінка потенціалу енергії хвиль.....	8
1.2 Теоретичний аналіз можливості використання енергії хвиль у Чорному морі	9
1.3 Теоретичний аналіз існуючих розробок хвильових електростанцій.....	10
1.4 Теоретичний аналіз відомих моделей та конструкцій морських хвильових електростанцій.....	12
1.5 Висновки до розділу 1	20
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Характеристика та основні параметри морських хвиль	22
2.2 Розрахунок кількості енергії яку можна отримати від морських хвиль	26
2.3 Модуляція хвиль.....	30
2.4 Характеристика та енергетичні показники хвиль Чорного моря.....	32
2.5 Висновки до розділу 2.....	38
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Принцип роботи та складові хвильової електростанції.....	39
3.2 Моделювання елементів хвильової електростанції	40
3.3 Визначення енергетичних параметрів моделі хвильової електростанції.....	43
3.4 Схема системи електропостачання споживачів.....	49

	5
3.5 Вибір контролера заряду	54
3.6 Розрахунок та вибір акумуляторних батарей	54
3.7 Розрахунок та вибір інвертора струму	56
3.8 Економічне обґрунтування.....	58
3.9 Висновки до розділу 3	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	61
4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується.....	61
4.2 Правила безперебійної роботи гідротурбінного обладнання	62
4.3 Заходи для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання.....	64
4.4 Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70

ВСТУП

Актуальність теми. Останніми роками світова енергетика зробила суттєвий внесок у глобальне процвітання за рахунок збільшення виробництва та використання енергії. Заходи з використання відновлюваних джерел енергії та енергозбереження забезпечили 60-65% економічного зростання. В результаті енергоємність національного доходу за цей період знизилася на 18% у світі і на 21-27 % у розвинених країнах. Підвищення енергоефективності економіки (системні енергозберігаючі заходи) є центральною метою енергетичної стратегії. Енергетична стратегія передбачає інтенсивну реалізацію організаційно-технологічних заходів збереження паливно-енергетичних ресурсів, тобто проведення цілеспрямованої політики енергозбереження.

Україна володіє величезними відновлюваними енергетичними ресурсами, при цьому має слабо розвинену частку у виробництві енергії з використанням цих джерел.

В літературі представлені різні способи та методи перетворення енергії хвиль в електричну енергію. В багатьох випадках описані способи дають істотно різні результати при однакових вихідних даних. Це свідчить про те, що питання, пов'язані з перетворенням енергії хвиль в електричну енергію недостатньо вивчені, і потребують подальших досліджень.

Таким чином, наукові дослідження, спрямовані на подальший розвиток сучасних підходів до дослідження параметрів морських хвиль з можливістю їх перетворення в електричну енергію з допомогою поплавкових перетворювачів для живлення віддалених від центральних систем електропостачання малопотужних споживачів, є актуальними і відповідають сучасним вимогам економіки нашої країни.

Метою кваліфікаційної роботи є електропостачання малопотужних споживачів прибережних районів, віддалених від централізованих мереж електропостачання.

Об'єктом дослідження є генерація електричної енергії перетворювачем хвильової енергії.

Предметом дослідження є принципи роботи перетворювача хвильової енергії, що використовується для живлення малопотужних споживачів.

Апробація роботи. Пихач В.І. Оцінка енергоефективності застосування хвильових гідроенергетичних перетворювачів в системах електропостачання. // І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, В.І. Пихач // Збірник тез доповідей. Матеріали XII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 6 - 7 грудня 2023р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2023.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (25 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 72 сторінки, 7 таблиць і 20 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка потенціалу енергії хвиль

Сумарна потужність енергії хвиль оцінюється в 10 ТВт, що може збільшити у двічі виробництва електроенергії в світі. Тому перетворення енергії хвиль вважається перспективним напрямком альтернативної електроенергетики.

Перетворення енергії хвиль має більшу ефективність виробництва електричної енергії ніж від інших відновлювальних джерел енергії.

Існує два принципово різних способи отримання електричної енергії від:

- руху хвиль;
- поверхневого коливання.

У першому випадку хвилі обертають турбіну, яка у свою чергу – обертає генератор. Існує й інший спосіб: хвиля рухається через відкриту ємність, витісняючи повітря і змушуючи працювати двигун.

У другому – електроенергія виходить завдяки перетворювачам - поплавкам, які йдуть за напрямом хвилі і таким чином знаходяться на площині води.



Рисунок 1.1 – Фото перетворювача поплавкового типу

Наразі використовуються установки щодо перетворення енергії хвиль у морях та океанах, загальна потужність яких становить понад 100 млрд. кВт.

1.2 Теоретичний аналіз можливості використання енергії хвиль у Чорному морі

Чорне море знаходиться в глибі материка, припливи настільки малі, що їх майже не видно. Величина приливних коливань рівня в Чорному морі - від 3 до 10 см. У відкритому морі зимові хвилі досягають висоти 6 – 7 м. Чорноморські ударні хвилі досягають метрової висоти.

Коливання рівня для Чорного моря є найбільш поширеними коливаннями нагонів, їх формування залежить від певних атмосферних процесів в межах природного синоптичного періоду, їх тривалість становить від 4 до 8 діб. Великий вплив має швидкість вітру і довжина прискорення в морі, зазвичай переважають хвилі висотою до 3 м.

Середнє значення коливань хвиль для Чорного моря становить 0,8 м. Сила удару чорноморської хвилі може досягати 5 - 6 тон на 1 м². У травні-липні спостерігається високий підйом рівня води в морі у жовтні-листопаді рівень знижується. Рівень між зимовим і літнім рівнем моря складає 40 см.

Одним з актуальних завдань сучасної гідроенергетики є використання енергії морських хвиль з метою перетворення енергії хвилі в електричну. Для вирішення цього завдання необхідно володіти технічними параметрами хвилі. Так як хвилі не носять систематичного характеру і змінюються відповідно до раніше заданих величин, необхідно проаналізувати збурюючі ефекти, які створюють хвилі.

Хвилі можуть бути поздовжніми і поперечними. У поздовжніх хвилях частинки води коливаються уздовж напрямку руху хвилі. Перпендикулярні коливання створюють відповідно поперечні хвилі. До хвильових рухів відносяться поздовжні і поперечні коливання, що виникають на поверхні води, гравітаційні рухи по колу, які зменшуються з глибиною.

Для визначення перенесення енергії хвилею, що характеризується вектором Пойтинга або вектором густини потоку енергії, необхідно знати величини довжини та швидкості хвилі.

Течії у Чорному морі направлені переважно проти напрямку годинникової стрілки. Течії слабкі, їхня швидкість рідко перевищує 0,5 м/с. Основний потік течії має ширину 40-60 км і проходить на відстані 3-7 км від берега (рис. 1.2).

У бухтах інколи утворюються окремі коловороти, спрямовані за годинниковою стрілкою, їх швидкість досягає 0,5 м/с.

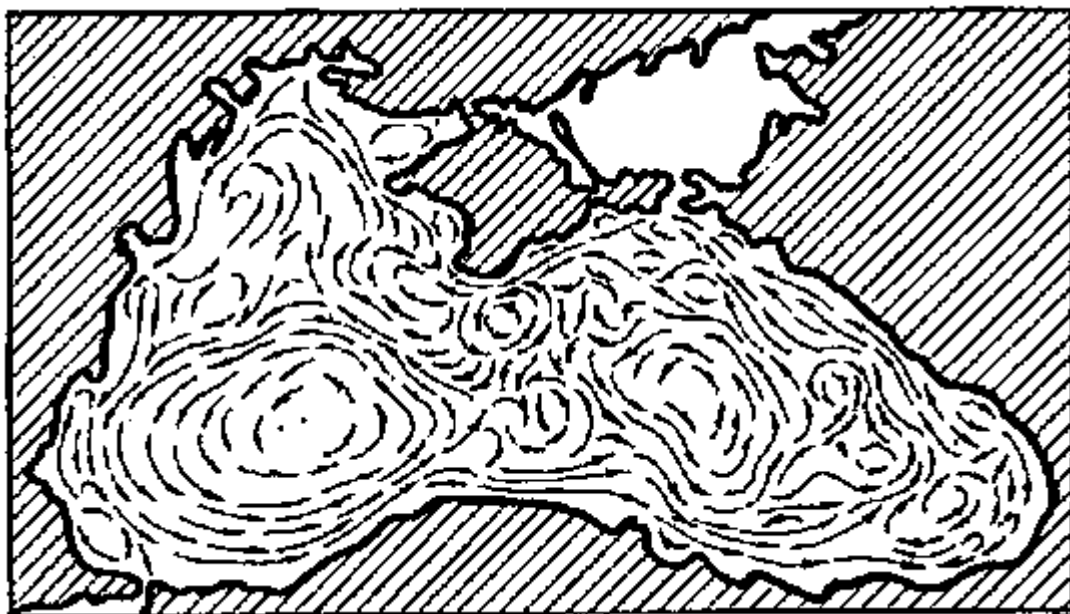


Рисунок 1.2 – Напрямок руху течій у чорному морі

Відстань між гребнями чорноморських хвиль – 20 – 40 м. Океанські хвилі разів у десять довші. Чорноморські ударні хвилі (внаслідок землетрусів) досягають метрової висоти, а середня їх швидкість – 120 – 160 км/год. Розмір припливно-відливних коливань рівня Чорному морі – від 3 до 10 см.

1.3 Теоретичний аналіз існуючих розробок хвильових електростанцій

Дві третини планети займають моря та океани, запаси енергії у Світовому океані колосальні. Теплова енергія, що відповідає нагріву поверхневих вод, має величину порядку 10^{26} Дж. Кінетична енергія океанських течій оцінюється величиною близько 10^{18} Дж. Основна частка енергії, що надходить Світовий океан, це результат поглинання сонячної енергії. Енергія світового океану визначається також гравітаційним впливом планет і супутника Землі, що створює припливи, а також надходження енергії з глибини планети. За рахунок руху повітряних та водних мас закумуляована океаном енергія переноситься по всій планеті.

Приблизно дві третини сумарного сонячного випромінювання зазнають в океані і на поверхні суші різних змін: до 43% перетворюються на тепло і випаровуються, утворення опадів; до 23% передає енергію вітрам, хвилям, різним видам течій, що у океані має невелике значення. Навіть при малому відсотку передачі енергії вітрам, хвилям і течіям, кінетична енергія становить значну цифру, що дорівнює $2 \cdot 10^{12}$ Дж. З цією величиною можна порівняти сумарний потік енергії, що надходить з надр Землі у вигляді теплової енергії. Виділити, який із потоків має безпосереднє відношення лише до океану, завдання досить важке. Для енергетики важливі не абсолютні величини потужностей різних джерел, лише їх частина, яку можна перетворити на різні види енергії.

Існує безліч розробок хвильових перетворювачів, частина з яких реалізовані тією чи іншою мірою. Найбільш поширені: поплавкова гідроелектрична установка (ПГЕ), пліт Коккерела, «Качка» Солтера, що гойдається, осцилююча водяна колона, пульсуючий водяний стовп Массуди. На кращих установках в оптимальному режимі ККД відбору хвильової енергії досить високий (від 70 до 95%).

Великі хвильові станції можуть бути використані для хвилезахисту морських бурових платформ та господарств, розташованих на узбережжі. У

сві-

ті близько 400 маяків та навігаційних буїв отримують живлення від хвильових установок. В Індії від хвильової енергії працює плавучий маяк порту Мадра.

Створення хвильових електростанцій визначається оптимальним вибором із стійким запасом хвильової енергії, ефективною конструкцією станції, в яку вбудовані пристрої згладжування нерівномірного режиму хвилювання. Вважається, що ефективно хвильові станції можуть працювати під час використання потужності близько 80 кВт/м.

Накопичений світовий досвід показує, що питомі капіталовкладення в будівництво хвильової електростанції досягають 5000 \$ на 1 кВт, і енергія, що виробляється ними, поки в 2 - 3 рази дорожча традиційної, але в майбутньому очікується значне зниження її вартості.

Розробка та дослідження енергоагрегатів морських хвиль є одним із актуальних завдань енергозабезпечення та енергонезалежності об'єктів що мають нафтогазовидобувні платформи на шельфі Чорного моря. Актуальною є задача розробки енергоагрегатів, турбін, пристроїв та перетворювачів морських хвиль з метою забезпечення електроенергією сільськогосподарських об'єктів, приморських селищ та підключення хвильових електростанцій до загальної мережі електропостачання.

1.4 Теоретичний аналіз відомих моделей та конструкцій морських хвильових електростанцій

Стаття «Технічний аналіз економічної життєздатності морських хвильових електростанцій» присвячена алгоритму розробки перетворювача енергії морської хвилі, робота якого ґрунтується на аналізі процесів відображення, рефракції, дифракції та інтерференції між хвилями та їх перетворювачами енергії. У статті міститься інформація про розміщення приймача перетворювача енергії хвилі паралельно поверхні, що дозволяє

отримувати енергію хвилі щоразу і дає уявлення про принцип оптимізації хвильових електростанцій.

Автори статті «Електростанція океанічних хвиль плаваючого типу за різних обставин» запропонували хвильову електростанцію нового типу, яка складається з плавучої платформи з парою поплавців, вибудованих у лінію з інтервалом в один крок хвилі, і гідроагрегату зустрічно - обертового типу, зануреного в морську воду в центрі платформи. У цій статті експериментально представлена динамічна реакція станції при набіганні океанічної хвилі та моделюються різні типи потоків навколо турбін типу «Уеллс» в енергоблоці з протиборством.

У статті «Використання енергії хвиль на іонічному морі Грецького узбережжя: просторове планування потенційних хвильових електростанцій» описується геопросторовий багатокритеріальний аналіз рішень, заснований на технології географічних інформаційних систем для визначення найкращого розташування для розгортання потенційної хвильової енергетичної станції в Іонічному морі на заході Греції, з урахуванням факторів, таких, як відстань до енергосистеми, висота хвиль, зони, що охороняються, і т.д. Оцінка хвильового ресурсу завершується за допомогою вимірювань реальних даних та апроксимації чисельної хвильової моделі. Результати вказують на найбільш підходящі ділянки для встановлення хвильових електростанцій. Запропонована методологія може однаково застосовуватися у разі просторового планування.

У роботі "Оцінка якості електроенергії від хвильової електростанції" описується розробка та тестування програмного забезпечення на основі даних флікерметра, що використовується для оцінки якості постачання від хвильової електростанції LIMPET на Айла. Наводиться вплив коливань напруги з хвильової електростанції на загальну; пояснюються методики, розроблені поліпшення характеристик флікерметра під час використання попередньо записаних даних. Представлені в роботі коливання результатів за попередніми

даними, зібраними зі станції LIMPET, показали, що пристрій працює в прийнятних межах.

Вибір матеріалів для лопатей аеродинамічного профілю турбіни Уеллса, що експлуатується на хвильовій електростанції з водяним стовпом, що коливається (OWC) є одним з ключових питань для генераторів енергії хвилі OWC. Навантаження, що додаються на лопаті, передаються на вал, конструкція лопаті повинна витримувати аеродинамічні циклічні та відцентрові навантаження. Подальша оцінка систематичного методу визначила основні матеріали, необхідні при створенні лопатей: армовані композити (вуглеводневе волокно, епоксидна смола) та сплав титану (Ti 6Al 4V).

Стаття «Попереднє техніко-економічне обґрунтування генерації енергії океанської хвилі для південного узбережжя Шрі-Ланки: електрична здійсненність» включає короткий огляд пристроїв хвильової енергії, що підходять для хвильового клімату країни, та технічну можливість інтеграції електростанцій хвильової енергії в загальну мережу. Наведено економічні показники хвильових електростанцій.

У роботі «Застосування технології генерації хвильової енергії» розглядається історія розвитку технологій генерації, аналізуються їхня оптимізація та застосування пристроїв перетворення енергії хвиль, приклади застосування пристроїв генерації хвильової енергії на судах. Коротко викладається тенденція застосування пристроїв на судах: енергія, що генерується, повинна використовуватися як допоміжне джерело і для побутових потреб. Застосування хвильової енергії в морській енергетиці може ефективно скоротити викиди з суден, що сприяє економії електроенергії та захисту навколишнього середовища, а також сталою розвитку людського суспільства.

У статті «Імітаційний аналіз та огляд генераторів енергії океанської хвилі» наведена конструкція пристрою Wave Power Generator. Пропонована конструкція порівнюється з існуючим пристроєм, що перетворює енергію

морської хвилі на електричну енергію, з метою показати, що розроблений пристрій більш ефективно, генерує більшу кількість електроенергії. Дослідження проводиться за допомогою MATLAB.

У патентах описується хвильова електрична установка, що містить герметичний поплавець, вітрило, розміщене на поплавці електричний генератор. Як електричний генератор використаний генератор з постійними магнітами на роторі (з великим числом пар полюсів ротора). Електричний генератор розташований в центральній частині поплавця поблизу центру водотоннажності, вітрило розташоване на кормі поплавця, вихід електричного генератора з'єднаний з входом випрямляча, вихід випрямляча з'єднаний з ємністю, до ємності підключений вхід стабілізатора напруги і друга ємність, до якої підключений вхід інвертора, а з виходу інвертора електроенергія подається споживачам підводним електричним кабелем або повітряною лінією електропередачі на берег, або використовується на борту поплавця для живлення опріснювальної установки, заряджання акумуляторів. Автори стверджують, що цей пристрій дозволить опріснювати морську воду, але не показують скільки електричної енергії необхідно для опріснювача, допустимо використовує зворотний осмос, або, можливо, вони мали на увазі якийсь інший метод опріснення. Не зрозуміло, яким чином вони уявляють зберігання та доставку опрісненої води на берег. Пориви вітру можуть розгортати пристрій, бічні хвилі зміщувати його щодо кріплення до якоря. Тому пристрій буде мати інерційність, так як вітрила не зможуть швидко зорієнтувати в необхідне положення.

Також наведено показано хвильову електростанцію плавучого заводу зрідження природного газу (ЗПГ), що містить механічні перетворювачі енергії морських хвиль, що включають гвинтову пару, пружину, грузило, шестерню обгінну муфту, паразитну шестерню, мультиплікатор, електрогенератор. В середині оболонки розміщено чотири механічні перетворювачі кожен з яких містить зубчасту пару. Кулькова гвинтова пара виконана у формі гвинта з

гайкою, встановленої в нерухомій основі. Технічний результат, на досягнення якого спрямовано пропонований винахід, полягає у вдосконаленні механічного перетворювача, підвищенні його чутливості при малих амплітудах морських хвиль і збільшення процента перетворення енергії морських хвиль в електричну енергію. З патенту не ясно, яка величина цих малих амплітуд і як ці малі амплітуди можуть привести в рух шестерні передачі з гвинтом і гайкою. Автори пишуть про збільшення відсотка перетворення енергії в електричну енергію, не показуючи величину цього відсотка. Не відзначається значення зусилля для роботи гвинта і гайки. Робота механічного перетворювача складається з двох циклів: стиск та розтяг пружини.

Ці цикли потрібно було пов'язати з параметрами хвилі – періодом хвилі, довжиною хвилі. Пристрій включає низку проміжних елементів.

Постійна часу може бути в цьому пристрої можна порівняти з часом роботи всіх елементів пристрою. Автори роботи стверджують, що пропонований винахід є енергозберігаючою системою, але не зрозуміло, у чому суть енергозбереження. У роботі вказується, що більша кількість кінетичної енергії морської хвилі буде перетворена на електричну енергію, і цей механічний перетворювач енергії більш чутливий при малих амплітудах морських хвиль. Хвилі в морі здійснюють в основному поступальний рух і мають потенційну енергію. Автори плутають амплітуди хвиль зі швидкістю розповсюдження хвилі.

В літературі також часто описується – поплавкова хвильова електростанція – показано, що ця електростанція містить корпус з камерами, наповненими рідиною та з'єднаними каналом, два поплавці, розташовані симетрично щодо його осі, турбіну, розташовану в каналі на одній осі з електрогенератором і пов'язану з ним. Електростанція забезпечена кілем, що стабілізує її положення щодо вертикалі, двома бічними поплавцями, прикріпленими до корпусу і розташованими з різних його сторін уздовж осі корпусу, що стабілізують положення електростанції щодо фронту хвилі, що

набігає, обмежувачами руху поплавків, розташованими на корпусі. З опису роботи пристрою видно, на відміну від прототипу, що для хвильової електростанції, що пропонується, відсутній якір і це може призвести до дрейфу електростанції за наявності ще й додаткових течій. Не ясно, яким чином автор пропонує акумулювати електроенергію, що виробляється, і передавати споживачеві. Хвиля має досить великий натиск на один погонний метр і достатньої енергією, в результаті гідростатичних сил і сил тяжіння може бути явно недостатньо, щоб цю хвильову електростанцію не забрало в море або не викинуло на берег. Набігаюча хвиля має період кілька секунд, і цей пристрій через інерційність може бути не працездатним.

Ще в одній хвильовій поплавковій електростанції - виробництво електроенергії здійснюється шляхом перетворення енергії хвиль з використанням конструкції герметичного поплавка, в середині якого є циліндричний корпус з розміщеним в ньому маятником. Маятник підвішений до кінця троса, який перекинутий через блок, встановлений на осі обертання. Інший кінець троса прикріплений до якоря, встановленого дні, приєднаний ротор електричного генератора. Обмотка статора генератора приєднана до виходу зарядного пристрою, вихід якого приєднано до акумулятора. Автори використовують оригінальну ідею побудови хвильової електростанції та методику розрахунку, проте при розрахунку не враховані сили тертя, що виникають у трубі та сили тертя напрямку троса. При розрахунку механічної енергії та потужності є помилки – енергія прийнята рівної потужності, тобто період T дорівнює 1 с, але в тексті автори приймають період коливань $T = 3$ с. Є деяке вільне трактування прийнятих параметрів та розрахунків. Наприклад, прийнята вага поплавкової електростанції з маятником та тросом 200 кг, сила Архімеда 300 кг.

В результаті автори пишуть, що при підйомі на гребінь хвилі використовується лише частина механічної потужності. З публікації не

зрозуміло, яка кількість енергії виробляється хвильовою електростанцією протягом доби, року.

Відомі технічні рішення щодо створення поплавкових хвильових електростанцій, ефективність яких суттєво залежить від довжин морських хвиль, швидкості та напрямку їх поширення. Ці параметри хвиль є змінними, причому зміни їх носять випадковий характер. У технічному рішенні ПЗЕЗ не містить накопичувач енергії, який необхідний для енергомашини як пристрій, що підвищує ефективність його роботи. У ряді випадків для роботи ПЗЕЗ використовується динамічний інерційний накопичувач енергії (ІНЕ), який дозволяє створювати запас енергії у періоди неповного навантаження електрогенератора, а періоди максимального навантаження чи морського затишшя підтримувати його обертання. Використання ІНЕ також суттєво підвищує ефективність дії електростанції і водночас є добрим стабілізатором вертикальної стійкості всього поплавця. Для компенсації аритмії, запобігання зриву коливань та підтримки стійкості коливального руху маятника в ПЗЕС передбачають додатковий періодичний вплив на вантаж за допомогою параметричного осцилятора. Для підвищення ефективності дії ПЗЕЗ оснащена ІНЕ. Розкрутка маховика ІНЕ або навпаки перетворення енергії обертального руху на електроенергію проводиться за допомогою електромеханічного приводу

двосторонньої дії. Використання ІНЕ як енергетичний буфер дозволяє створювати запас енергії в періоди неповного навантаження електрогенератора, у періоди максимального навантаження або морського затишшя підтримувати його обертання. ІНЕ виконує ще одну дуже важливу функцію. У зв'язку з тим, що обертання маховика, виконаного у вигляді осесиметричного кульового сегмента великої маси, що розкручується до високих кутових швидкостей, характеризується значною величиною моменту імпульсу, ІНЕ можна використовувати як стабілізатор вертикальної стійкості всього поплавця.

Ця властивість поплавок дуже істотна, якщо врахувати всілякі бічні дії з боку хвиль та потоків вітру. У процесі роботи ПЗЕМ енергія коливань пружного маятника витрачається на генерацію електроенергії та роботу проти дисипативних сил. Це призводить до зменшення амплітуди маятника і частого неузгодженості коливань маятника і сили, що змушує. На параметри коливань пружного маятника можуть впливати амплітудні і фазові зміни параметрів коливань поплавця, пов'язані зі стохастичним характером процесу хвилеутворення в морі.

Серед існуючих у світі хвильових мікроелектростанцій деякі побудовані за плавиковим принципом. Відомий проект під назвою Dartmouth Wave Energy англійського винахідника Елвіна Сміта (Alvin Smith). Він нагадує хвильову електростанцію, яка використовує енергію вертикального руху поплавця. Поплавець не має електричних систем і є механічним насосом, що закачує морську воду на велику висоту, тобто є міні-ГАЕС (гідроакумулюючою електростанцією (Pumpedstorage hydroelectricity)). Вода накопичується на суші, у горах і випускається назад у море, обертаючи турбіну гідроелектростанції, але без греблі. Основу установки становлять два поплавці, здатні пересуватися один щодо одного. Верхній поплавець розгойдується хвилями, нижній поплавець з'єднаний з дном за допомогою ланцюга та якоря. Між поплавцями знаходиться “насосна станція” (циліндр із поршнем подвійної дії, який качає воду під час руху вниз та вгору) та клапани з вихідними трубами.

Недолік такої конструкції полягає в тому, що для роботи станції поряд з береговою лінією повинне розташовуватись піднесення, на якому можна розмістити б'єф з необхідним об'ємом води. За оцінкою творця машини, установка може піднімати морську воду на висоту до 200 м, отже, необхідно створити тиск більше 25 атмосфер, і практичне застосування такої конструкції можливе лише в деяких місцях, що відповідають цій вимозі проекту. Іншим недоліком є втрати у трубопроводі під час перекачування води, що веде до зниження загального ККД.

Фахівцями науково-виробничої фірми «Крок – 1» (Україна) під керівництвом Овсянкіна В.В. була розроблена конструкція хвильової електростанції, що перетворює енергію морських хвиль в умовах відкритого моря, яка має низку принципових відмінностей від усіх існуючих хвильових електростанцій. Переміщення окремих об'ємів води, що виникають при проходженні хвиль, сприймаються робочими органами станції за допомогою гідродинамічного напору, що створює крутний момент на робочих валах. Цей момент перетворюється та передається трансмісією на вал генератора. Автори провели низку випробувань макетів станцій та дослідного зразка потужністю 10 кВт у хвильовому басейні інституту гідромеханіки НАН України та натурні випробування в умовах Київського моря. На основі цього наведена енергетична характеристика роботи станції потужністю 2 МВт, де зазначено, що при висоті хвилі більше 2 м і до 5,5 м, потужність, що розвивається установкою, становить 2 МВт. Акваторія, де передбачається установка, повинна бути абсолютно відкрита, мати глибину не менше 25 м і максимально наближена до об'єкта споживання електроенергії. Не ясно, як конструкція може безперервно змінювати свої параметри під впливом морських хвиль широкого діапазону довжин і амплітуди, як забезпечується надійність кріплення при модульному з'єднанні при штормовому морі і їх робота при високобальних штормах, термін роботи установки і його ККД

1.5 Висновки до розділу 1

1. Аналіз потенціалу хвильової енергетики та існуючих енергоагрегатів показав, що використання енергії хвиль та існуючі розробки вимагають подальших досліджень, щоб підвищити енергоефективність енергії морських хвиль при перетворенні її на електричну енергію.

2. Проведено теоретичний аналіз використання енергії хвиль Чорного моря.

3. Розглянуто принципи роботи існуючих хвильових енергоагрегатів та хвильових електростанцій. Показано недоліки розроблених моделей та неефективність їх застосування для Чорного моря.

5. Таким чином, аналіз існуючих даних для хвиль в умовах Чорного моря показує, що для розробки та розрахунку параметрів енергоагрегатів для хвильових електростанцій необхідно керуватися такими критеріями:

- 1) підсумкова вартість має бути не вищою за аналоги;
- 2) апарат має бути компактним і складатись з доступних комплектуючих;
- 3) електростанція повинна працювати як у відкритому морі, так і в зоні прибою;
- 4) електростанція повинна мати високий коефіцієнт встановленої потужності.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика та основні параметри морських хвиль

Потужність хвилі оцінюють у кВт на погонний метр, тобто кВт/м. У порівнянні з вітровою та сонячною енергією енергія хвилі краща через більш високу питому потужність. Середня потужність хвиль морів і океанів зазвичай перевищує 15 кВт/м. При висоті хвиль 2 м потужність досягає 80 кВт/м.

Енергія морських хвиль – це енергія, що переноситься поверхнею моря. Метровий відрізок хвилі переносить від 40 до 100 кВт потужності. Енергія хвиль вважається невичерпною і набагато вищою за енергію припливів і відливів. Хвильові електростанції можна використовувати для енергопостачання сигнальних буїв, нафтовидобувних станцій, прибережних селищ, сільсько-господарських об'єктів і т.п.

На сьогодні розвиток та експлуатація хвильової енергетики знаходиться на низькому рівні в порівнянні з сонячною та вітровою енергетикою. Енергоагрегати хвильових електростанцій не отримали належного розвитку, а існуюче обладнання хвильових електростанцій потребує дуже високих витрат. ККД хвильових електростанцій низьке. Численні дослідження показують, що потужність хвиль може зробити величезний внесок в альтернативну енергетику. Хвильова енергетика поки що суттєво відстає у розвитку від інших видів відновлюваних джерел енергії.

Морські хвилі можуть бути представлені двома видами: поверхневими та внутрішніми.

Поверхневі хвилі – це хвилі на поверхні моря, які за походженням можуть бути вітровими, приливними, анемобаричними, сейсмічними, корабельними.

Внутрішні хвилі - це хвилі, що виникають на глибині і майже не проявляють себе на поверхні.

Обидва ці види хвиль пов'язані один з одним як природою виникнення,

так і при взаємодії між собою.

При стоячій хвилі частки води не здійснюють рухів круговими орбітами. Кожна хвиля, рухома чи нерухома, характеризується певними елементами: гребенем, вершиною та підшовою хвилі. Гребінь хвилі – частина хвилі, розташована вище за середній хвильовий рівень. Вершина хвилі – найвища точка гребеня хвилі. Підшо́ва хвилі – найнижча точка хвилі (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Елементи хвилі

Висота хвилі (h) – перевищення висоти хвилі над сусідньою у напрямі руху хвиль. Висота в хвилі це відстань від гребеня до підшови хвилі. Довжина хвилі це горизонтальна відстань між вершинами двох сусідніх гребенів в напрям-ку поширення хвиль.

Реальні вітрові хвилі завжди тривимірні, і для них, як і для стоячих хвиль, період хвилі за швидкістю переміщення хвиль визначається в одній точці.

При вивченні елементів окремої хвилі та їх зміни зазвичай використовується ідеалізована хвиля, за яку вибирається трехоїдальна. Це двомірна хвиля, частки якої обертаються по правильним колам, причому частинки, що

знаходяться на одній вертикалі, коливаються синфазно. Трохоїдальна теорія хвиль називається теорією хвиль для глибокого моря. Виразимо параметри триоїдальної хвилі. Кутову швидкість елементарного об'єму води в певній точці визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1)$$

Тоді довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (2.2)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Швидкість переміщення хвилі у напрямі її поширення з урахуванням рівняння (2.2), тобто фазова швидкість, буде дорівнювати:

$$v_{\phi} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (2.3)$$

Фазова швидкість хвилі визначається її довжиною і залежить від висоти хвилі. Хвилі більшої довжини поширюються з більшою фазовою швидкістю. З наведених формул отримаємо співвідношення для періоду хвилі T , с:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (2.4)$$

Довжина хвилі, а значить, її швидкість і період та глибина не змінюються. При хвилюванні частки води рухаються круговими орбітами; радіуси орбіт, якими обертаються частинки, зменшуються з глибиною за експоненційним законом при цьому радіус орбіти, якими обертаються частинки, r_1 , м, визначаються як:

$$r_1 = r_0 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot Z}{\lambda}} \quad (2.5)$$

де Z – вертикальна відстань вниз від поверхні води, м.

Висота хвилі $H = 2r$. Радіус орбіти дорівнює половині висоти хвилі даної глибини. Замінюючи $r_0 = \frac{H_0}{2}$, отримаємо вираз, що визначає зміну висоти хвилі

за глибиною:

$$H = \frac{H_0}{2} \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot Z}{\lambda}} \quad (2.6)$$

де H_0 - висота хвилі на поверхні моря, м.

Отже, при зменшенні радіусів зменшується і висота хвилі. На глибині, що дорівнює половині довжини хвилі ($Z = \frac{\lambda}{2}$), висота хвилі зменшується в 23 рази, а на глибині, що дорівнює довжині хвилі ($Z = \lambda$) – у 6535 разів.

При глибині Z що більше довжини хвилі λ ($Z \geq \lambda$) хвилеві коливання відсутні. При глибині $Z = \lambda$ коливання мають дуже малу величину, і при $Z = \frac{1}{2}\lambda$ коливання мають найбільше значення, при тому, що Z доходить із глибини до центру хвилі.

Наведений зв'язок глибини моря та довжини хвилі дозволяє оцінити глибину, на якій хвилі практично зникають. Ця глибина може бути прийнята рівною половині довжини хвилі. На глибині, що дорівнює довжині хвилі, коливання практично відсутні. Відповідно до формули (2.1) швидкість поширення хвилі залежить лише від її довжини. З глибиною вона не змінюється, так само не змінюються період та довжина хвилі.

Енергія при хвилюванні складається з кінетичної енергії, що не змінюється при русі по орбіті, і потенційної, яка змінюється, тому що при русі по орбіті змінюється висота частинок над рівнем моря. Якщо центр орбіти частинки збігається з положенням частки у стані спокою, середня потенційна енергія за один оберт частки по орбіті була б рана нулю. Насправді центр орбіти частинки трохи піднятий над положенням спокою і середнє значення потенційної енергії відрізнятиметься від нуля, і залежить від величини перевищення центрів орбіт над положенням частинок у спокої. На рис. 2.2 зображено профіль хвилі.

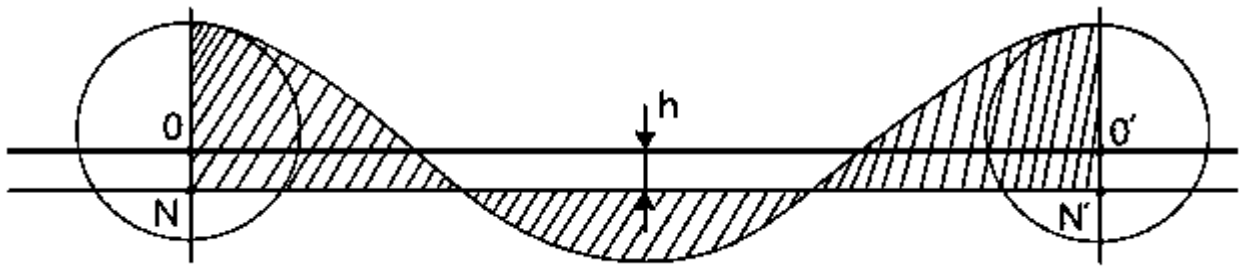


Рисунок 2.2 – Зображення профілю для розрахунку потенційної енергії

Хвиля не врівноважена відносно прямої лінії, що з'єднує центри кола, тому для визначення рівня, що відповідає нульовому значенню потенційної енергії, проведемо лінію NN' яка ділить хвилю на дві рівні частини.

Як показано на рисунку 2.2, ця лінія проходить нижче лінії OO' , що з'єднує центри кіл. Лінія NN' значенню хвилі у спокійному стані, коли потенційна енергія дорівнює нулю. Тоді, величина h визначає відхилення середнього хвилювання. Математично визначено, що середнє перевищення h буде визначатись:

$$h = \frac{\pi \cdot r^2}{\lambda} \quad (2.7)$$

2.2 Розрахунок кількості енергії яку можна отримати від морських хвиль

Потенціальна енергія ΔE_{Π} , Дж, елементарного об'єму води, що має масу m , кг, буде дорівнювати:

$$\Delta E_{\Pi} = \frac{mg\pi r^2}{\lambda} \quad (2.8)$$

Кінетична ΔE_K , Дж, елементарного об'єму води, що має масу m , кг, буде дорівнювати:

$$\Delta E_K = \frac{m v^2}{2} \quad (2.9)$$

де v – лінійна швидкість руху, м/с.

$$v = r \cdot \omega; \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2.10)$$

З урахуванням формул (2.10) елементарного об'єму води, що має масу m , кг, буде дорівнювати:

$$\Delta E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega^2 r^2}{2} = \frac{m4\pi^2 r^2}{2T^2} = \frac{4\pi^2 mgr^2}{4\pi\lambda} = \frac{mg\pi r^2}{\lambda} \quad (2.11)$$

Кінетична енергія елементарного об'єму води, що має масу m , дорівнює його ж потенційній енергії $\Delta E_K = \Delta E_{\Pi}$.

Повна енергія дорівнює сумі кінетичної та потенційної енергії:

$$\Delta E = \Delta E_K + \Delta E_{\Pi} = \frac{mg\pi r^2}{\lambda} \quad (2.12)$$

Кількість енергії dE , Дж, яку має хвиля води шириною dl з основою, рівною одиниці і густиною морської хвилі ρ можна визначити за формулою:

$$dE = \frac{2g\pi r^2 dl}{\lambda} \quad (2.13)$$

Для отримання повної енергії хвилі що припадає на одиницю поверхні площі хвилі, проінтегруємо вираз 2.13 по всій товщині від нуля до нескінченності тоді отримаємо:

$$E = \int_0^{\infty} 2g\rho \frac{\pi r^2}{\lambda} dl \quad (2.14)$$

так, як:

$$r = r_0 e^{-\frac{2\pi r^2}{\lambda}} \quad (2.15)$$

тут величина $r_0 = \frac{h_0}{2}$,

то енергія, що можна отримати з одиниці площі, E , Дж/м²:

$$E = \frac{1}{8} \rho g h_0^2 \quad (2.15)$$

Кількість енергії залежить від висоти хвилі. Швидкий ріст кількості енергії у разі зростання висоти хвилі визначається величиною h_0^2 . Основна енергія хвилі зосереджена на поверхні води.

Розглянемо потік перенесення енергії хвилями через площину, що має одиничну ширину, яка збігається з напрямом руху хвилі. Глибину моря вважатимемо нескінченною величиною.

Потужність хвилі N , Вт, характеризується роботою, що виробляється в одиницю часу, дорівнює переносній енергії хвиль в одиницю часу і знаходиться за формулою:

$$N = \frac{W}{T} \frac{\rho g r^2}{4} \cdot \frac{\lambda}{T} = \frac{\rho g r^2}{T} \cdot v_\phi \quad (2.16)$$

Отже, з урахуванням раніше наведених формул отримаємо:

$$N = E \cdot \frac{v_\phi}{2} \quad (2.17)$$

У нескінченно глибокому морі повна механічна енергія хвилі переноситься зі швидкістю вдвічі меншою фазовій швидкості хвилі. Підставляючи в наведе-ному виразі (2.17) значення енергії, укладеної під одиничною площею (2.15), фазову швидкість хвилі (2.3), і враховуючи (2.4), а також, що $r = \frac{H}{2}$, отримаємо вираз для визначення потужності, що переноситься хвилею у напрямках її поширення N , Дж/с · м, на одиницю ширини хвильового фронту:

$$N_l = \rho g^2 h^2 \cdot \frac{T}{32\pi} \quad (2.18)$$

Потужність, що переноситься хвилями на глибокій воді, пропорційна квадрату їхньої амплітуди та періоду. Для хвильової енергетики перспективними є довгоперіодні хвилі великої висоти.

Для дрібного моря тертя суттєво змінює геометричні та кінематичні характеристики хвиль. З формули (2.15) випливає, що чим менша глибина моря і більша довжина хвилі, тим слабше повинен змінюватися радіус орбіти. При виході хвилі на мілководдя орбіти набувають еліптичної форми з великою віссю, витягнутою в напрямку поширення хвилі.

Швидкість хвилі залежить не тільки від довжини, а й від глибини моря:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \operatorname{th} \frac{2\pi}{\lambda} \cdot Z \quad (2.19)$$

де v – швидкість хвилі, м/с.

У випадку, коли Z / λ велике, формула 2.19 набуде вигляду:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (2.19)$$

Хвилі, які задовільняють значення $Z \geq 0,5\lambda$ називаються короткими. Для хвиль, що мають довжину менше подвоєної глибини моря, при знаходженні параметрів поверхневих хвиль на деякому віддаленні від берегової межі при $Z / \lambda \leq 0,1$ значення тангенса та його аргументу стає рівними один одному.

З формули (2.19) одержують формулу для фазової швидкості таких хвиль

$$v_{\phi} = \sqrt{gZ} \quad (2.20)$$

З виразу (2.20) випливає, що швидкість поширення цих хвиль залежить лише від глибини моря. При $Z / \lambda \leq 0,1$ хвилі називаються довгими - це приливні хвилі.

В інтервалі $Z / \lambda \leq (0,5 \div 0,1)$ хвилі змінюються від коротких до довгих і називаються хвилями мілководдя або довгими короткоперіодними. До них відносяться вітрові хвилі, що поширюються у прибережній зоні та цунамі. При підході хвиль до прибережного мілководдя вони стають довгими, розмивають дно, а також змінюють дно і береги.

Переміщення мас рідини у напрямі поширення хвиль немає, поширюється лише форма руху. Самі частинки рідини роблять малі коливання

замкнутими орбітами. Крутизна хвилі Z/λ обмежена граничною формою з гострою вершиною (циклоїдою), досягнувши якої хвиля втрачає стійкість і руйнується. Гранична форма хвилі була досліджена Стокс Д.Г., який показав, що максимально можлива відносна висота хвилі Z/λ дорівнює $1/7$. Фазова швидкість такої граничної хвилі на 12% більша за швидкість хвилі тієї ж довжини, але з малою амплітудою.

2.3 Модуляція хвиль

Хвилі завжди є сумою тієї чи іншої кількості простих хвиль, що поширюються в різних напрямках, і мають різні висоти та періоди.

Однією з різновидів системи хвиль є накладання (інтерференція) хвиль, близьких між собою за періодом і висотою, що поширюються в одному напрямку. Результат інтерференції двох таких хвиль показаний рисунку 2.3.

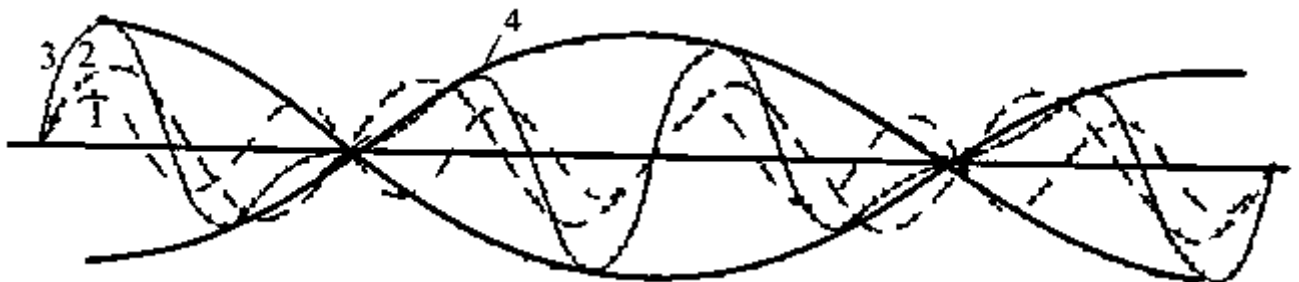


Рисунок 2.3 – Схема накладання (інтерференції) морських хвиль

1 і 2 - інтерферуючі хвилі; 3 - результуюча хвиля; 4 - хвильовий пакет

Пунктиром показані інтерферуючі хвилі, суцільною лінією - результуюча хвиля, а тонкою суцільною лінією - її огинаюча. Огинаюча захоплює дві і більше результуючих хвиль, що змінюють свою висоту від майже нульових значень до найбільших які називаються групою хвиль.

Інтерференція хвиль призводить до появи такого явища як «дев'ятий вал», коли через кілька хвиль, що поступово наростають по висоті, приходиться особливо висока хвиля, яку називають дев'ятим валом. Після цього висота

хвиль починає зменшуватися майже спокійного моря, а потім знову починає зростати. Найбільша в груповому пакеті хвиля в динаміці свого руху завжди проявляється як малорухлива або стояча хвиля. Дев'ятий вал може мати подвійну висоту, кут схилу поблизу гребеня може досягати 60° . Явище групових хвиль залежить від періодів інтерферуючих хвиль, найбільша по висоті хвиля може бути будь-який, не тільки дев'ятий.

Огинає групи хвиль переміщається разом із переміщенням результуючої хвилі. Швидкість її переміщення не збігається з фазовою швидкістю інтерферуючих хвиль. Для хвиль глибокого моря періоди інтерферуючих вітрових хвиль часто близькі між собою.

Для мілководдя групова швидкість залежить від відношення глибини моря до довжини хвилі. Групова швидкість хвиль визначає швидкість перенесення енергії в напрямку їх поширення і входить до рівняння балансу енергії хвиль. В таблиці 2.1 наведено: період - T , с; довжина - λ , м; фазова швидкість - V_ϕ , м / с і максимальна амплітуда - A_m , м вітрової хвилі, що обрушується.

Таблиця 2.1 - Оцінка морських хвиль з періодами від 1 до 15 секунд

T , сек	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
λ , м	1,6	6,2	14,1	25	39	56	77	100	126	156	189	225	264	351	451
V_ϕ , м/с	1,6	3,1	4,7	6,2	7,0	9,4	10,9	12,5	14,1	15,6	17,2	18,7	20,3	21,9	23,4
A_m , м	0,2	0,7	1,7	3,0	4,7	6,7	9,2	12	15	18	23	27	32	42	54

Потік води рухається зі швидкістю, що дорівнює швидкості фронту хвиль v_ϕ . Для моря характерними є періоди хвиль від 6 до 8 секунд, що відповідає довжині хвилі близько 80 м, максимальній швидкості потоку в гребені хвилі 10 м/с та максимальній амплітуді хвилі близько 10 м.

На узбережжі відкритого океану, при проходженні штормів, спостерігаються хвилі з періодами 11 - 13 с, висота яких значно вища, ніж у хвиль відкрито-го моря. Тому плавання суден поблизу узбережжя або біля морських мілин складає підвищену небезпеку.

Реальні вітрові хвилі завжди тривимірні, і для них так само, як і для стоячих хвиль, важко визначитись період швидкості переміщення гребеня. У цьому випадку введені поняття періоду хвилі в одній точці та висоти тривимірних хвиль. Швидкість руху хвилі, тобто швидкість течії, у період хвилі зменшується за глибиною.

Джерело хвиль, впливаючи на прилеглі до нього об'єми, безперервно передає їм енергію, яка переміщує хвилю у водному середовищі.

При поширенні поздовжньої хвилі, що характеризується рівнянням (2.32), можна визначити зміну об'єму енергії dV . Як об'єм dV виберемо елементарний циліндр (рисунок 2.4). Хвиля ваги P і радіусу r наводиться в рух під дією сили хвилі F_1 і сили вітру F_2 .

Теоретичний опис закономірностей зародження та розвитку морських хвиль показує, що дуже складно створити пристрій, який міг би використовувати величезну енергію, що переноситься хвилями, для перетворення цієї енергії в електричну енергію з великим коефіцієнтом корисної потужності. Але дослідження та розробки у створенні таких пристроїв є актуальним завданням.

2.4 Характеристика та енергетичні показники хвиль Чорного моря

Розглянемо технічні та енергетичні параметри енергії морських хвиль Чорного моря на основі гідрографічних даних дослідження карти, обчисленої середньої значущої висоти хвилі та періоду взимку та влітку у прибережній зоні біля Одеси (рис. 2.4).

Чорне море:

Максимальна глибина – 2258 м;

Об'єм води – 555000 км³;

Площа - 423000 км²;

Довжина берегової лінії – 4125 км;

Висота хвилі $H = 0,7 \div 1,2$ м.

Середньорічний потік хвилі – 3,48 кВт/м.

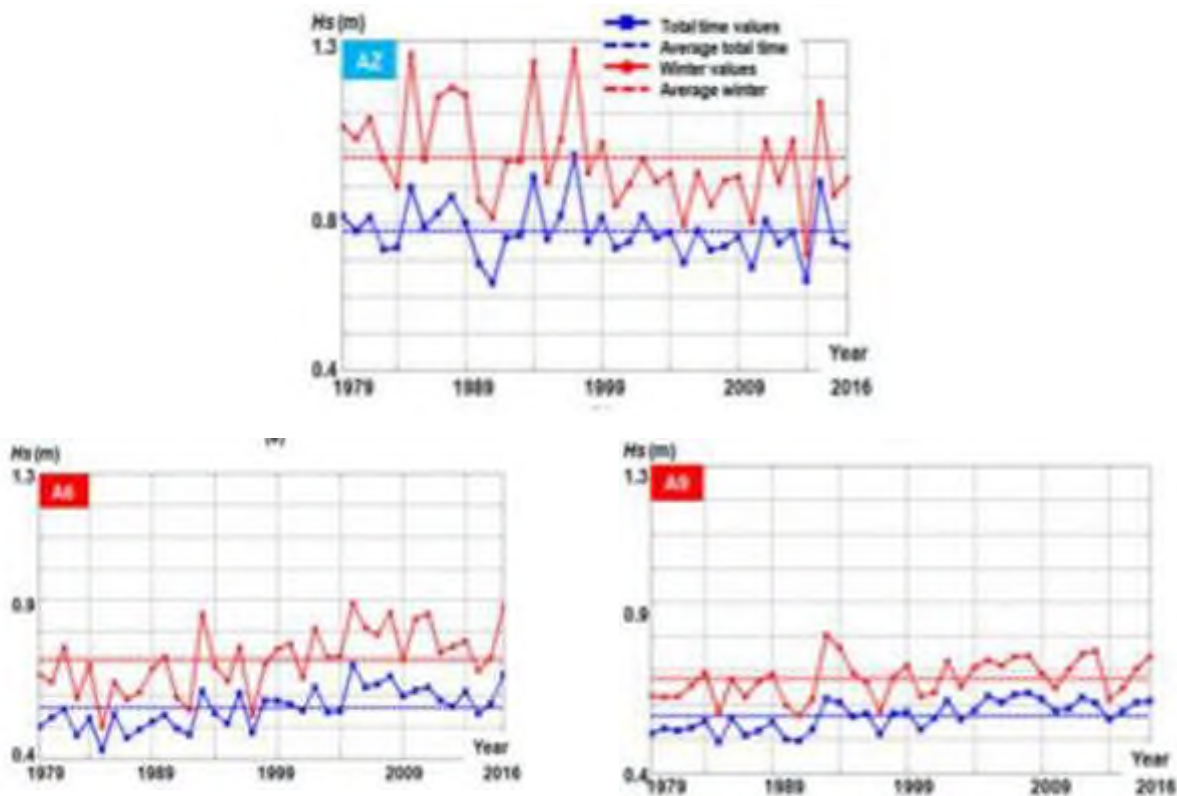
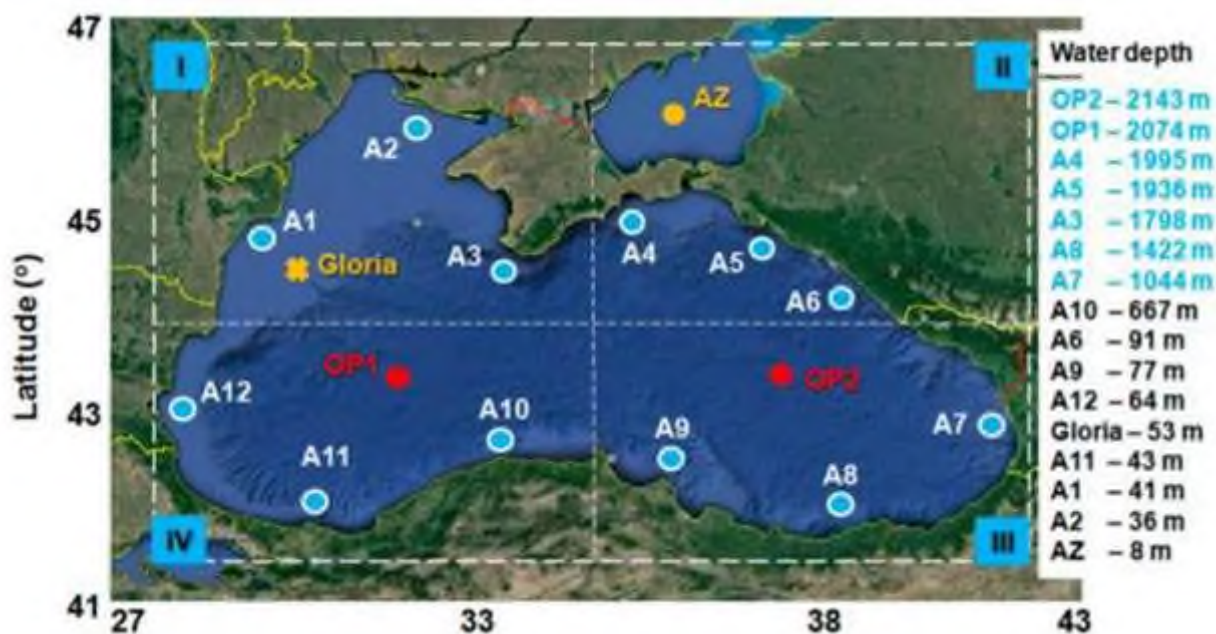


Рисунок 2.4 – Параметри енергії чорного моря

Середнє значення висоти хвилі – H (м), ширина хвилі – l (м) та період – T (с) у зимовий час мають значення: $H = (0,5 \div 1,2)$ м; $l = 5$ м; $T = 2$, при швидкості хвилі $V = 3$ м/с.

$$V_1 = \frac{v \cdot T \cdot H_1 \cdot l}{\pi} \quad (2.21)$$

а) при висоті хвилі 0,5 м визначимо об'єм хвилі

$$V_1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 5}{3,14} = 4,78 \text{ м}^3$$

б) при висоті волни 1,2 м об'єм волни равен

$$V_1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 5}{3,14} = 11,46 \text{ м}^3$$

Визначимо масу хвилі:

$$m = \rho \cdot V \quad (2.22)$$

а)

$$m_1 = \rho \cdot V_1 = 1000 \cdot 4,78 = 4780 \text{ кг.}$$

б)

$$m_2 = \rho \cdot V_2 = 1000 \cdot 11,46 = 11460 \text{ кг.}$$

Визначимо середнє значення удару морської хвилі:

а)

$$F = \frac{3 \cdot V^2 \cdot H_1 \cdot l \cdot \rho}{\pi} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 1000}{3,14} = 21497 \text{ Н.}$$

б)

$$F = \frac{3 \cdot V^2 \cdot H_1 \cdot l \cdot \rho}{\pi} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 1,2 \cdot 5 \cdot 1000}{3,14} = 51592 \text{ Н.}$$

Визначимо потенціальну енергію $\Delta E_{\text{п}}$, Дж, об'єму води V , що має масу m , кг, при висоті хвилі H :

а)

$$\Delta E_{\text{п}} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \pi \cdot H_1^2}{l} = \frac{4,78 \cdot 9,8 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2}{5} = 7350 \text{ Дж.}$$

б)

$$\Delta E_{\text{п2}} = \frac{m_1 \cdot g \cdot \pi \cdot H_1^2}{l} = \frac{11465 \cdot 9,8 \cdot 3,14 \cdot 0,5^2}{5} = 101607 \text{ Дж.}$$

Визначимо потенціальну енергію ΔE_K , Дж, об'єму води V , що має масу m , кг, при висоті хвилі H :

а)

$$\Delta E_{K1} = \frac{m_1 \cdot v^2}{2} = \frac{4780 \cdot 9}{2} = 21496 \text{ Дж.}$$

б)

$$\Delta E_{K2} = \frac{m_1 \cdot v^2}{2} = \frac{11460 \cdot 9}{2} = 51593 \text{ Дж.}$$

Визначимо сумарну енергію:

а)

$$E_1 = \Delta E_{\text{п1}} + \Delta E_{K1} = 7350 + 21496 = 28847 \text{ Дж.}$$

б)

$$E_2 = \Delta E_{\text{п2}} + \Delta E_{K2} = 101607 + 51593 = 153200 \text{ Дж.}$$

Визначимо потужність хвилі:

а)

$$N_1 = \frac{E_1}{T} = \frac{28847}{2} = 14423,5 = 14,4235 \text{ кВт.}$$

б)

$$N_1 = \frac{E_1}{T} = \frac{101607}{2} = 50803,5 = 50,8035 \text{ кВт.}$$

Це при ширині хвилі 5 метрів

Якщо порахувати на 1 метр то середня потужність хвилі в зимовий період буде дорівнювати:

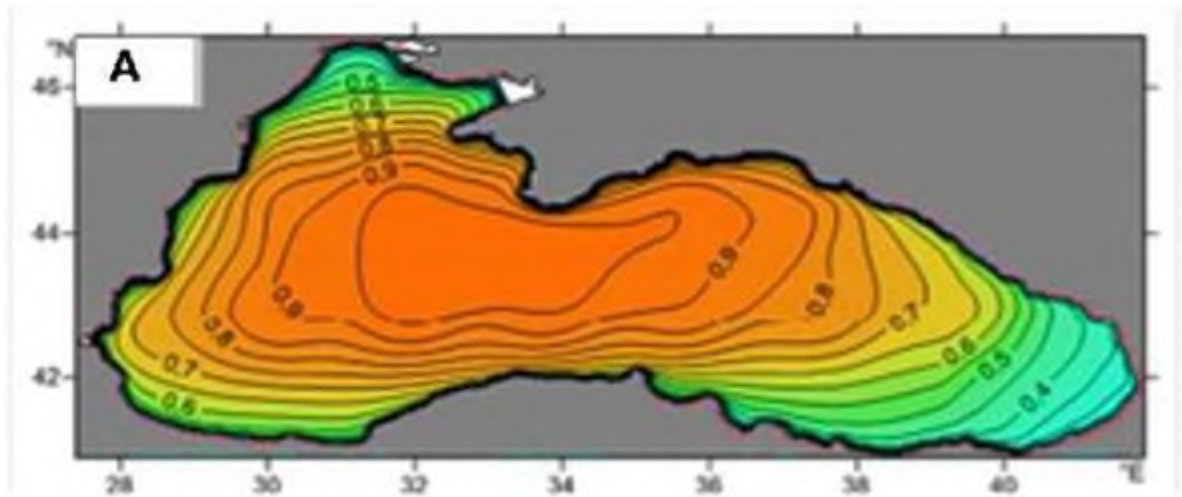
а)

$$N'_1 = \frac{N_1}{l} = \frac{14423,5}{5} = 2,88 \text{ кВт/м.}$$

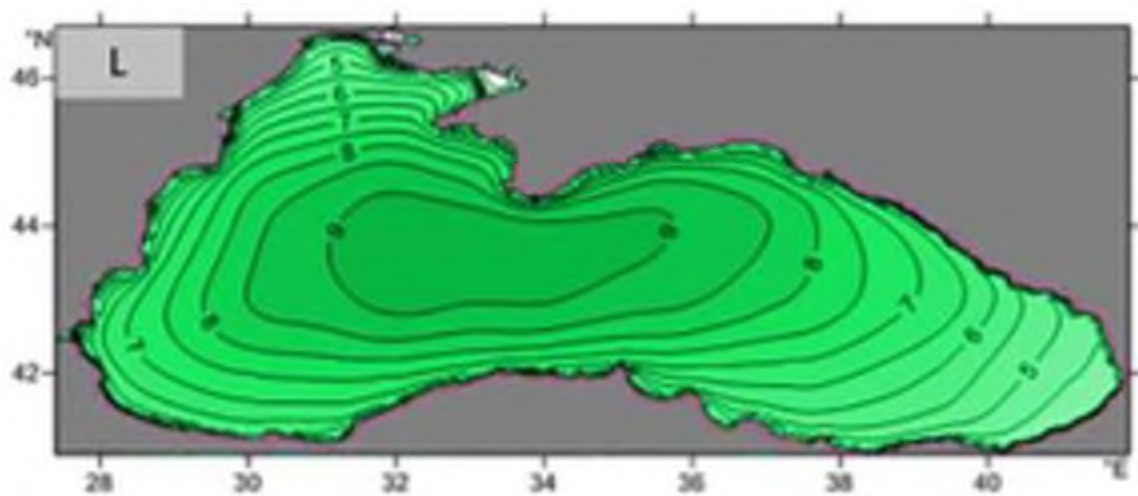
б)

$$N'_2 = \frac{E_2}{T} = \frac{50,8035}{2} = 25,4 \text{ кВт/м.}$$

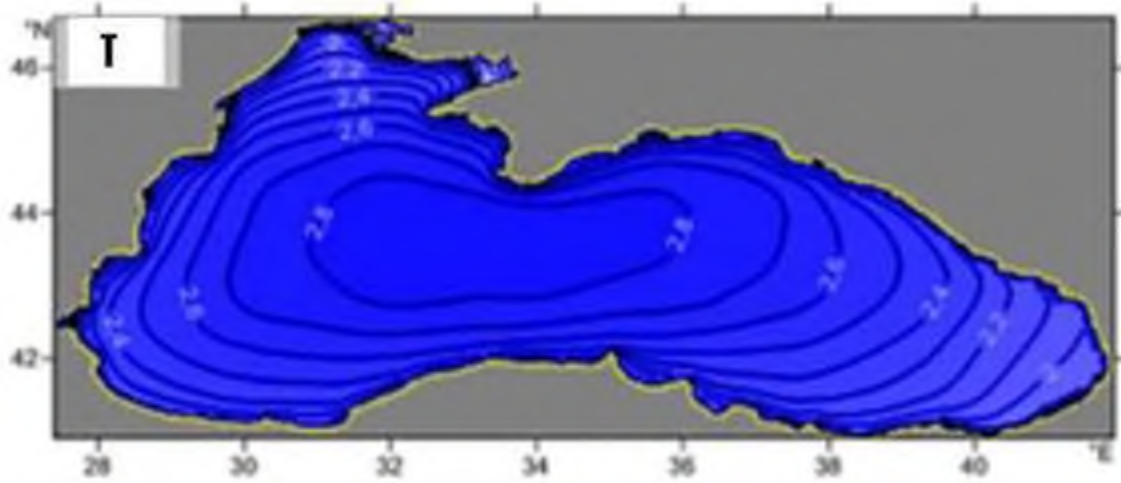
На рисунках 2.5 і 2.6 показана амплітуда хвилі A , ширина хвилі l і періоди хвиль T в літній і зимовий час.



a)

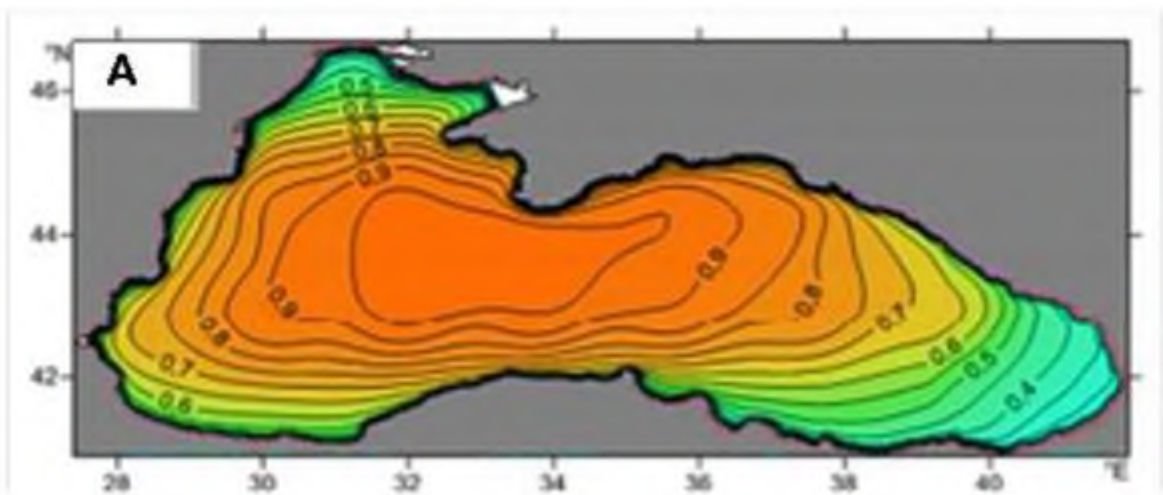


б)

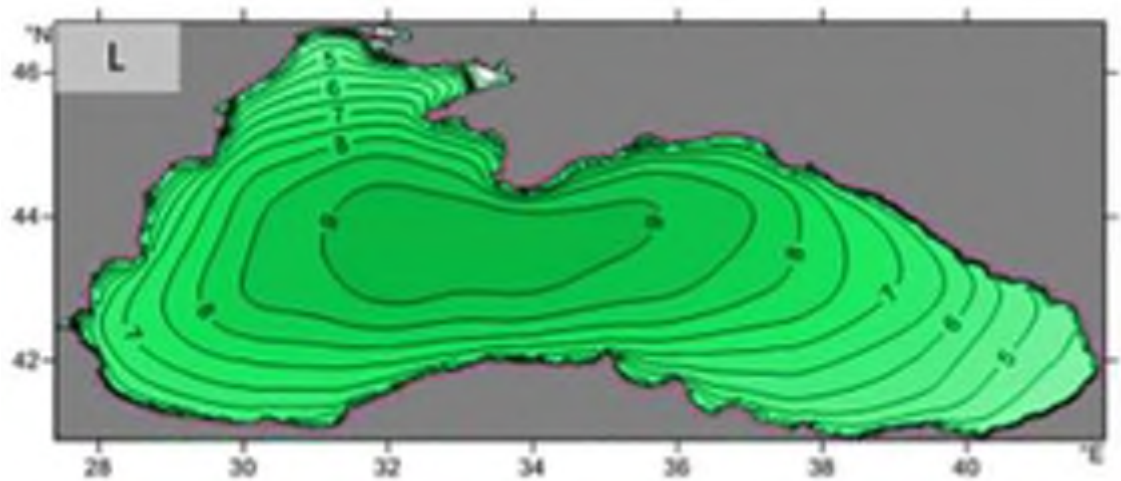


в)

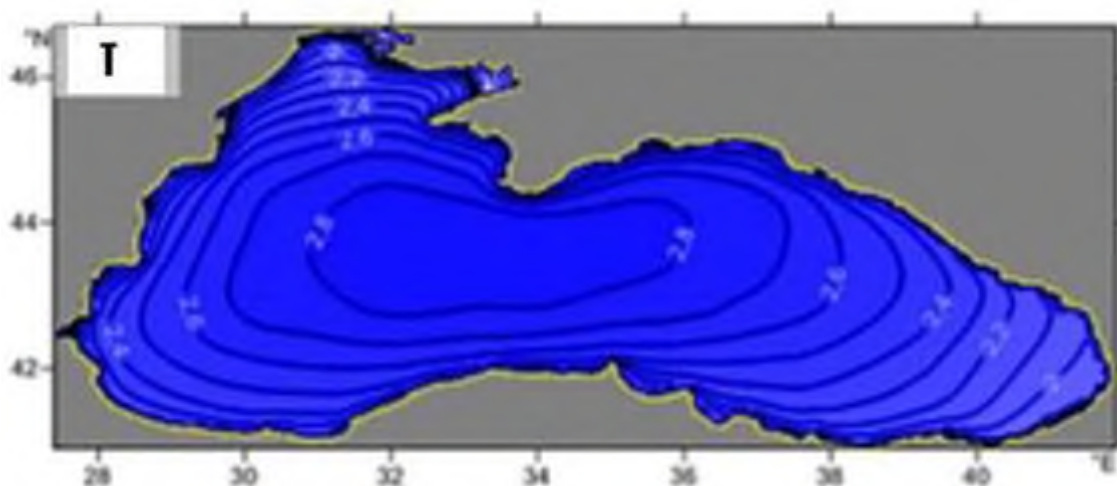
Рисунок 2.5 – Карты середньої амплітуди хвилі $A = 0,5; 0,7; 1,2$ м, ширини хвилі $l = 5$ м і періоду $T = 2$ м в літній період часу.



а)



б)



в)

Рисунок 2.6 – Карти середньої амплітуди хвилі $A = 0,3$, ширини хвилі $l = 5$ м і періоду $T = 168$ м в зимовий період часу.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Отримано рівняння швидкості поздовжньої хвилі та модуль сили хвилі під час її руху.
2. Виведено рівняння хвилі у параметричному вигляді як функції її висоти H і довжини λ , кінетичної енергії хвилі через фазову швидкість.
3. За характеристиками та показниками хвиль Чорного моря визначено та розраховано енергетичні параметри: потужність, потенційна, кінетична та повна енергія морських хвиль при існуючих у цих морях швидкості, періоді, висоті та довжині хвиль. Потужність хвилі при висоті хвилі 1м може сягати 4,55 кВт, а сумарна енергія 5,24 кДж. Потік потужності хвилі на 1м може досягати 7,7 кВт/м.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Принцип роботи та складові хвильової електростанції

Для перетворення енергії хвиль в електричну енергію була запропонована відповідна енергоустановка (рис. 3.1).

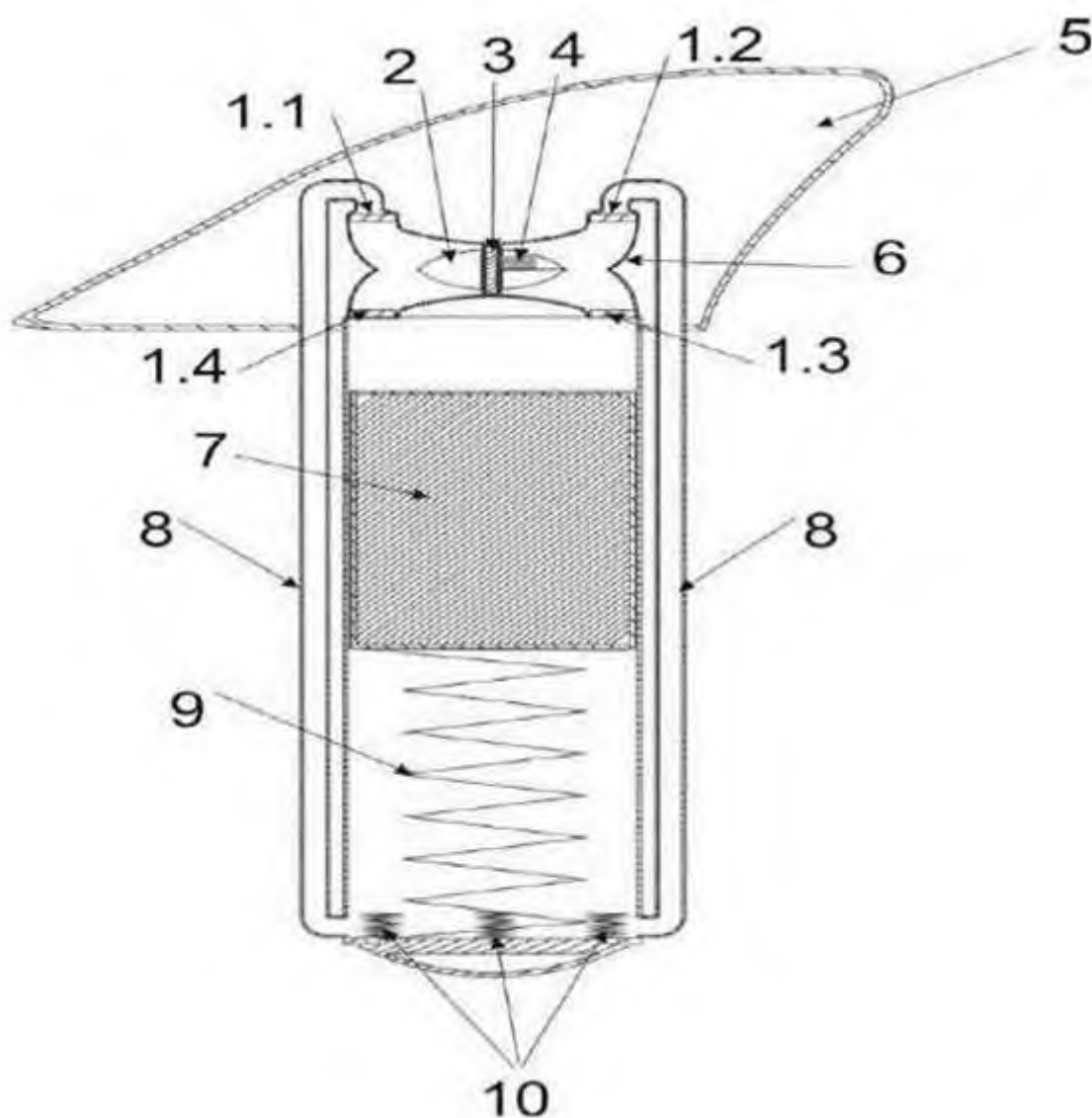


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд енергоустановки для перетворення енергії хвиль

1.1-1.4 - впускні та випускні клапани; 2 - обтікач; 3 - турбіна; 4 - генератор; 5 - поплавок; 6 - дифузор; 7 - поршень; 8 - повітропроводи; 9 - пружина; 10 - пружини для гасіння ударів.

Енергоустановка – це герметичний буй, який коливається у воді під дією хвиль. Ці коливання змушують переміщатися поршень усередині буя. Рух поршня витісняє повітря, яке, проходячи через повітропровід, обертає турбіну і генератор.

Принцип дії даного пристрою полягає в тому, що при набігу хвилі буй починає спливати, при цьому поршень 7, маючи велику інерцію залишається на місці і стискає пружину 9. У цей момент повітря під тиском витісняється з порожнини під поршнем 7 в повітропровід 8 і через зворотний клапан 1.1-1.2 потрапляє в дифузор 6 після чого приводить в рух турбіну 3 і генератор 4 а потім через зворотний клапан 1.3-.1.4 потрапляє в порожнину над поршнем 7.

3.2 Моделювання елементів хвильової електростанції

Корпус моделі можна виготовити із пластикової труби діаметром 100 мм, а поршень із склопластику з металевим баластом.

3D моделі конфузора і дифузора наведені на рис. 3.2 та 3.3.

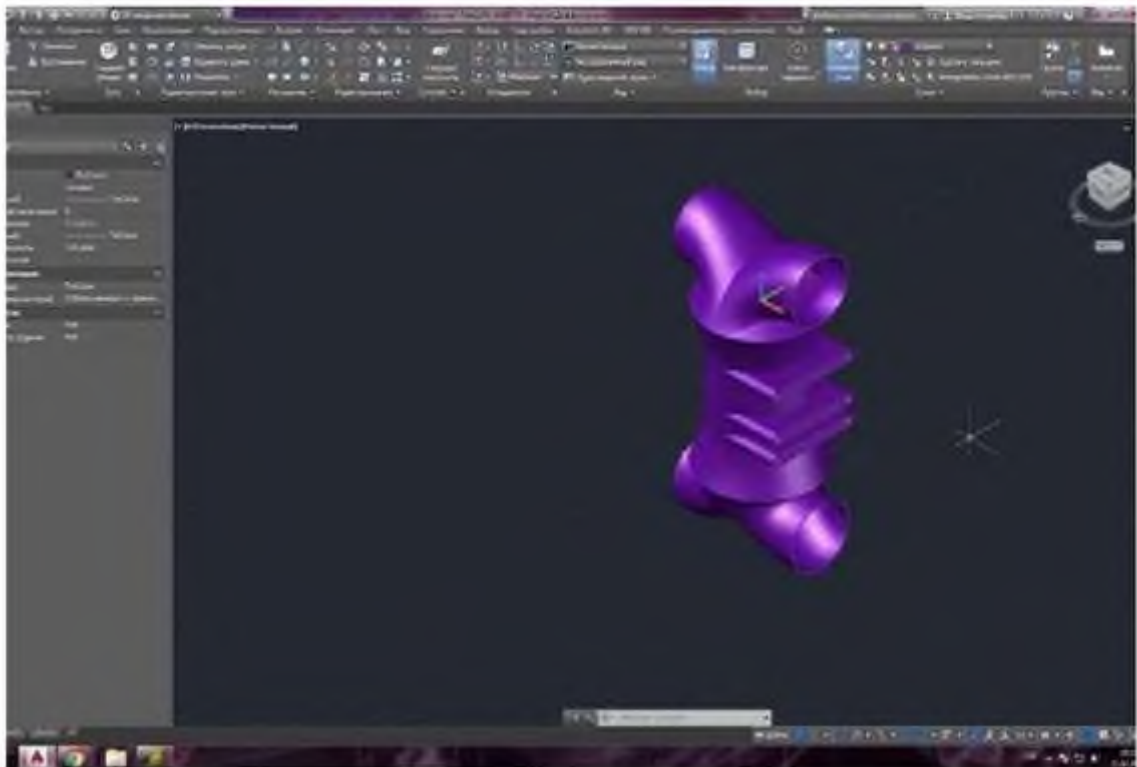


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд 3D моделі конфузора

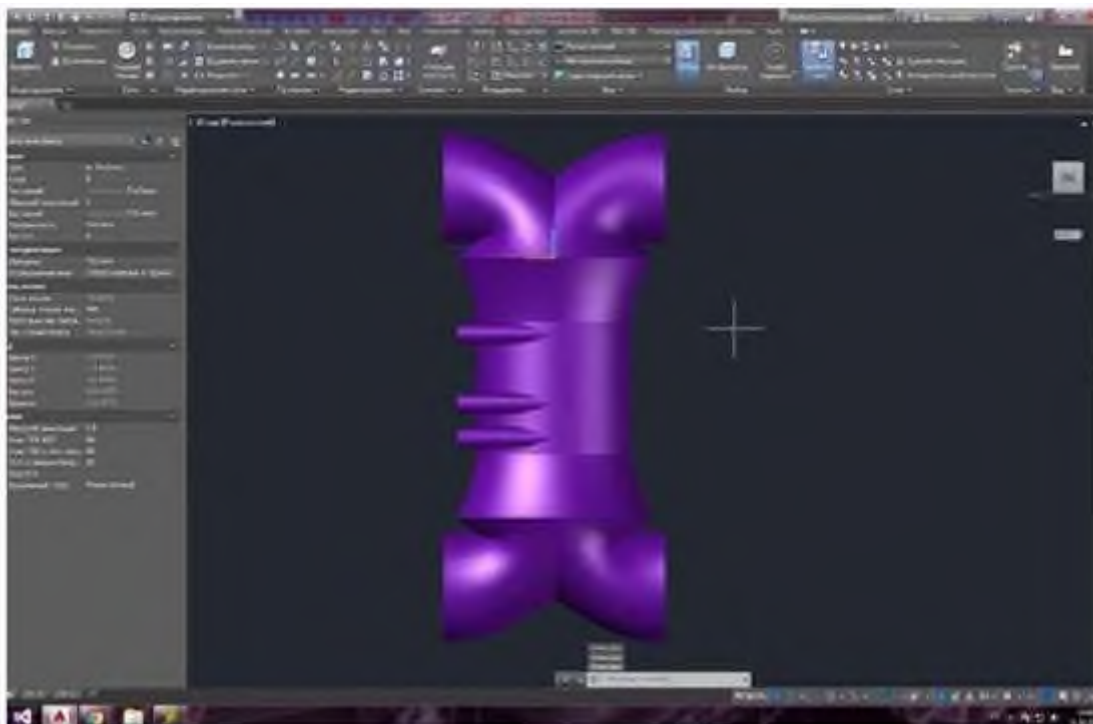


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд 3D моделі дифузора

Дифузор, конфузор та турбіну можна виготовляти на 3D принтері з ABS пластику та їх моделі наведено на рис. 3.4 та 3.5.



Рисунок 3.4 – Модель дифузора і конфузора



Рисунок 3.5 – Модель турбіни

До виходів дифузора приєднуються зворотні клапани та повітроводи, як показано на рис. 3.6.

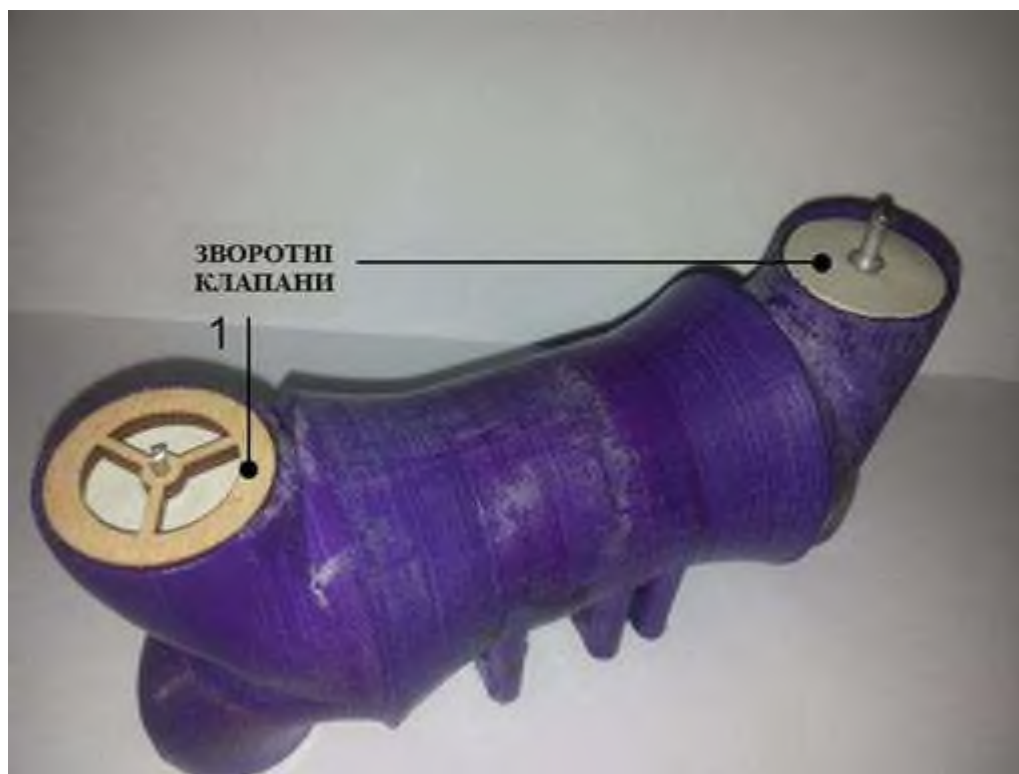


Рисунок 3.6 – Модель дифузора і конфузора

Загальний вигляд перетворювача показано на рис. 3.7.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд моделі перетворювача

3.3 Визначення енергетичних параметрів моделі хвильової електростанції

Для визначення характеристик турбіни та генератора, які використовуються у хвильовій електростанції, були проведені дослідження. Турбіну було поміщено на вал генератора, який, у свою чергу, був закріплений на стенді. За допомогою вентилятора створювався повітряний потік, який впливав на турбіну та обертав її, тим самим обертаючи вал генератора. Вимірювання

швидкості повітряного потоку проводилися за допомогою анемометра, а вихідна потужність генератора визначалася ватметром.

На основі отриманих даних було

побудовано графік залежності вихідної потужності генератора від швидкості

потоку повітря. Ця залежність була описана математично.

Для визначення швидкості потоку повітря в повітроводі перетворювача енергії хвиль, а, отже, і потужності на виході генератора, було складено його математичну модель.

Як вихідні дані були взяті наступні значення:

Початковий тиск у герметичному буї $P_0 = 101325$ Па;

Універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/(моль · К);

Газова стала $R_r = 287$ Дж/(кг · К);

Молярна маса повітря $M = 28,9610^{-3}$ моль;

Температура повітря $T = 10^\circ\text{C} = 288$ К; ;

Діаметр повітроводу $d = 110$ мм;

Довжина повітроводу $L = 1$ м.

Знайдемо об'єм повітря над та під поршнем:

$$V_0 = \pi \cdot r^2 \cdot L; V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot (L - x) \quad (3.1)$$

де: $x = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ м – крок поршня.

Знайдемо масу повітря в буї:

$$m_g = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot M}{R \cdot T_g} = 0,012 \text{ кг} \quad (3.2)$$

Визначимо зміну тиску повітря під поршнем при його русі вниз, тобто при переміщенні буя на гребінь хвилі:

$$P_1 = \frac{m_6 \cdot R \cdot T_6}{M \cdot V_1} \quad (3.3)$$

Знайдемо зміну швидкості повітря в повітроводі при русі поршня в низ, V , м/с:

$$V = \frac{1}{\rho} \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_0^2) \cdot d}{\lambda \cdot z \cdot R_2 \cdot T_6 \cdot L}} \quad (3.4)$$

де:

$$\rho = 1,2466 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\lambda = \frac{0,009407}{\sqrt[3]{d}} = 0,02 \text{ – коефіцієнт гідравлічного опору};$$

$$Z = 0,93 \text{ – коефіцієнт зміни об'єму повітря.}$$

Результати розрахунків зведено у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків

x, см	p_1 , Па	v, м/с
0	$1,013 \cdot 10^5$	0
0,1	$1,126 \cdot 10^5$	1,975
0,2	$1,267 \cdot 10^5$	3,058
0,3	$1,447 \cdot 10^5$	4,159
0,4	$1,689 \cdot 10^5$	5,436
0,5	$2,026 \cdot 10^5$	7,062
0,6	$2,533 \cdot 10^5$	9,342
0,7	$3,377 \cdot 10^5$	12,96
0,8	$5,066 \cdot 10^5$	19,97
0,9	$1,013 \cdot 10^6$	30,57

Розрахункова залежність потужності генератора від потоку повітря в енергоагрегаті наведена рис. 3.7.

На підставі графіка залежності $P = f(V)$ було знайдено вираз, який пов'язує P та V :

$$P(V) = 0,004V^2 + 1,4616V - 1,7652 \quad (3.5)$$

Для визначення залежності потужності від швидкості повітря в повітроводі скористаємося виразом 3.5.

Графік залежності $P=f(V)$ матиме такий вигляд.

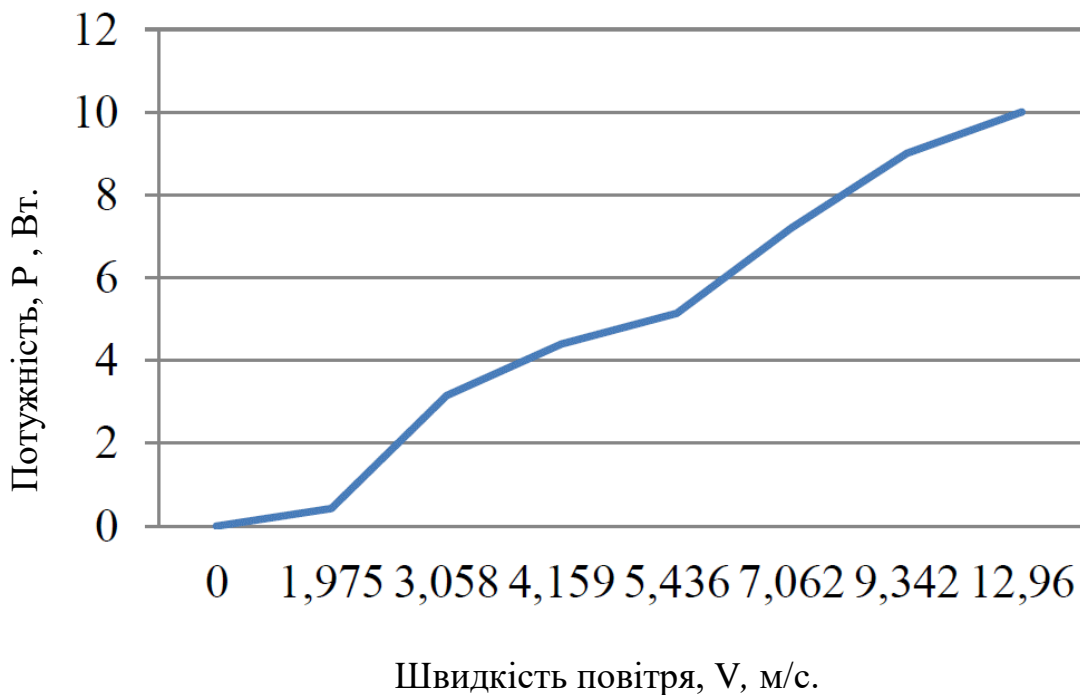


Рисунок 3.7 – Графік залежності вихідної потужності генератора від потоку повітря в енергоагрегаті

Використовуючи вираз (3.4) знайдемо вираз для знаходження оптимальної довжини бую:

$$L = \frac{(P_1^2 - P_0^2)d}{\lambda Z R_e T_e V^2 \rho^2} = \frac{\left[\left(\frac{mRT}{M \pi r^2 L} - P_0^2 \right) \right] \cdot d}{\lambda Z R_e T_e V^2 \rho^2} = \frac{m^2 R^2 T^2 \cdot d - P_0^2 M^2 \pi^2 r^4 \cdot d L^2}{\lambda Z R_e T_e V^2 \rho^2 \cdot M^2 \pi^2 r^4 L^2} \quad (3.6)$$

Введемо позначення:

$$a = m^2 R^2 T^2 \cdot d; \quad b = P_0^2 M^2 \pi^2 r^4 \cdot d; \quad c = \lambda Z R_e T_e V^2 \rho^2 \cdot M^2 \pi^2 r^4.$$

тоді отримаємо:

$$\frac{a - bL^2}{cL^2} = L; \quad a - bL^2 = cL^3; \quad cL^3 + bL^2 - a = 0$$

Рівняння (3.6) має три корені, одне з яких – дійсне число, а два інших – комплексні числа. Справжнє рівняння матиме вигляд:

$$L_1 = \left[\sqrt{\frac{a^2}{4c^2} - \frac{ab^3}{27c^4}} + \frac{a}{2c} - \frac{b^3}{27c^3} \right]^{\frac{1}{3}} - \frac{b}{3c} + \frac{b^2}{9c^2 \left(\sqrt{\frac{a^2}{4c^2} - \frac{ab^3}{27c^4}} + \frac{a}{2c} - \frac{b^3}{27c^3} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (3.7)$$

Конструкція буя є герметичною посудиною, всередині якої під дією хвиль перекачується газ. Така схема забезпечує високу надійність, оскільки має мінімум деталей і немає контакту з морської водою.

Випробування пристрою включає два етапи:

I етап.

Модель буя наповнюється повітрям під атмосферним тиском і підвішується на гумові троси до перекладки, як показано рис 3.6.

Далі буй відхиляють до заданого значення та відпускають. При цьому він здійснює вертикальні коливальні рухи, аналогічні тим, що викликані морськими хвилями. При цьому поршень перекачує повітря, рухаючи турбіну і генератор. До генератора приєднаний: амперметр, вольтметр та навантаження у вигляді реостату. Після того як буй зробив кілька коливань і вихідний сигнал з генератора стабілізувався, проводимо вимірювання струму та напруги під навантаженням. Далі дослід повторюється ще для чотирьох значень висот хвилі з урахуванням залежності $N=f(h)$. Дослідження моделі буя пояснюються рис. 3.8, результати яких представлені у таблиці 3.2.

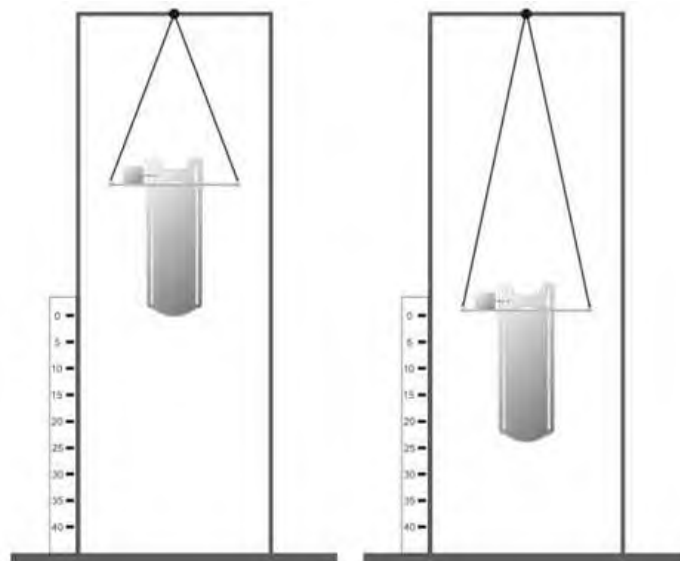


Рисунок 3.8 – Дослідження моделі буя

Таблиця 3.2 – Результати досліджень моделі буя заповненого повітрям

Висота коливання буя, h , м	Сила струму, I , А	Напруга, U , В	Потужність, P , Вт
0,05	2	0,1	0,2
0,1	3	0,14	0,42
0,15	5	0,2	1
0,2	9	0,35	3,15
0,25	11	0,4	4,4

II етап.

На цьому етапі як і в попередньому, буй підвішується на еластичних тросах, але при цьому в нього закачується газ із густиною більшою за повітря наприклад вуглекислим газом. Він має густину $1,97 \text{ кг/м}^3$. Далі експеримент повторюється тими ж значеннями висот хвиль, знімаються показники і заносяться до таблиці 3.3, по якій потім будується графік залежності $N = f(h)$.

Таблиця 3.3 – Результати досліджень моделі буя заповненого вуглекислим газом

Висота коливання буя, h , м	Сила струму, I , А	Напруга, U , В	Потужність, P , Вт
0,05	3,28	0,11	0,36
0,1	4,92	0,14	0,68
0,15	8,2	0,2	1,64
0,2	14,7	0,35	5,14
0,25	18	0,4	7,2

За отриманими значеннями будується загальний графік (рис. 3.9), який включає графіки залежності:

- ✓ потужності від висот хвиль з повітрям;
- ✓ потужності від висот хвиль при наповненні вуглекислим газом.

Таким чином, в результаті випробувань були отримані значення потужності, представлені в таблицях 3.2 та 3.3 для повітря та вуглекислого газу відповідно. Залежність зміни потужності від густини робочого тіла – лінійна. Найбільш доцільно застосування як робоче тіло газів більшої густини, за умови забезпечення швидкості потоку достатньої для обертання турбіни з частотою 1500 об/хв. Така частота обертання турбіни дозволяє застосовувати серійні генератор, які випускає промисловість, з мінімальним числом пар полюсів, що в свою чергу зменшує вартість і необхідний запас плавучості електростанції.

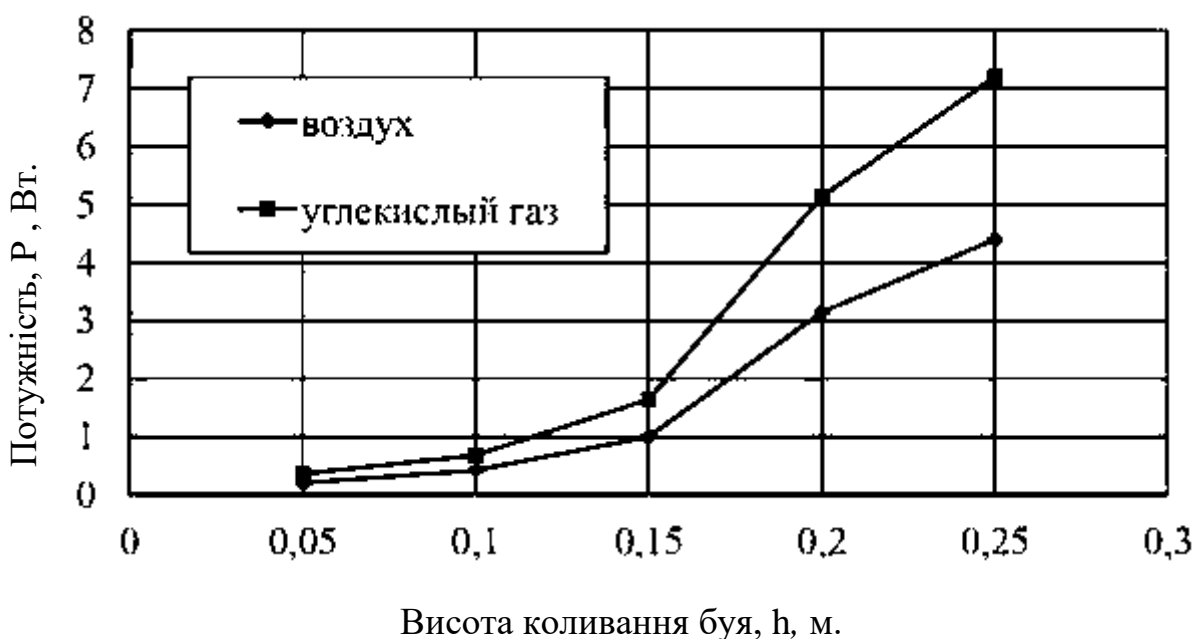


Рисунок 3.9 – Графіки дослідження моделі буя з вуглекислим газом

3.4 Схема системи електропостачання споживачів

Основними компонентами перетворювача енергії хвиль є турбіна, редуктор і електричний генератор. Вони з'єднані послідовно з погляду теорії надійності (рис. 3.10).

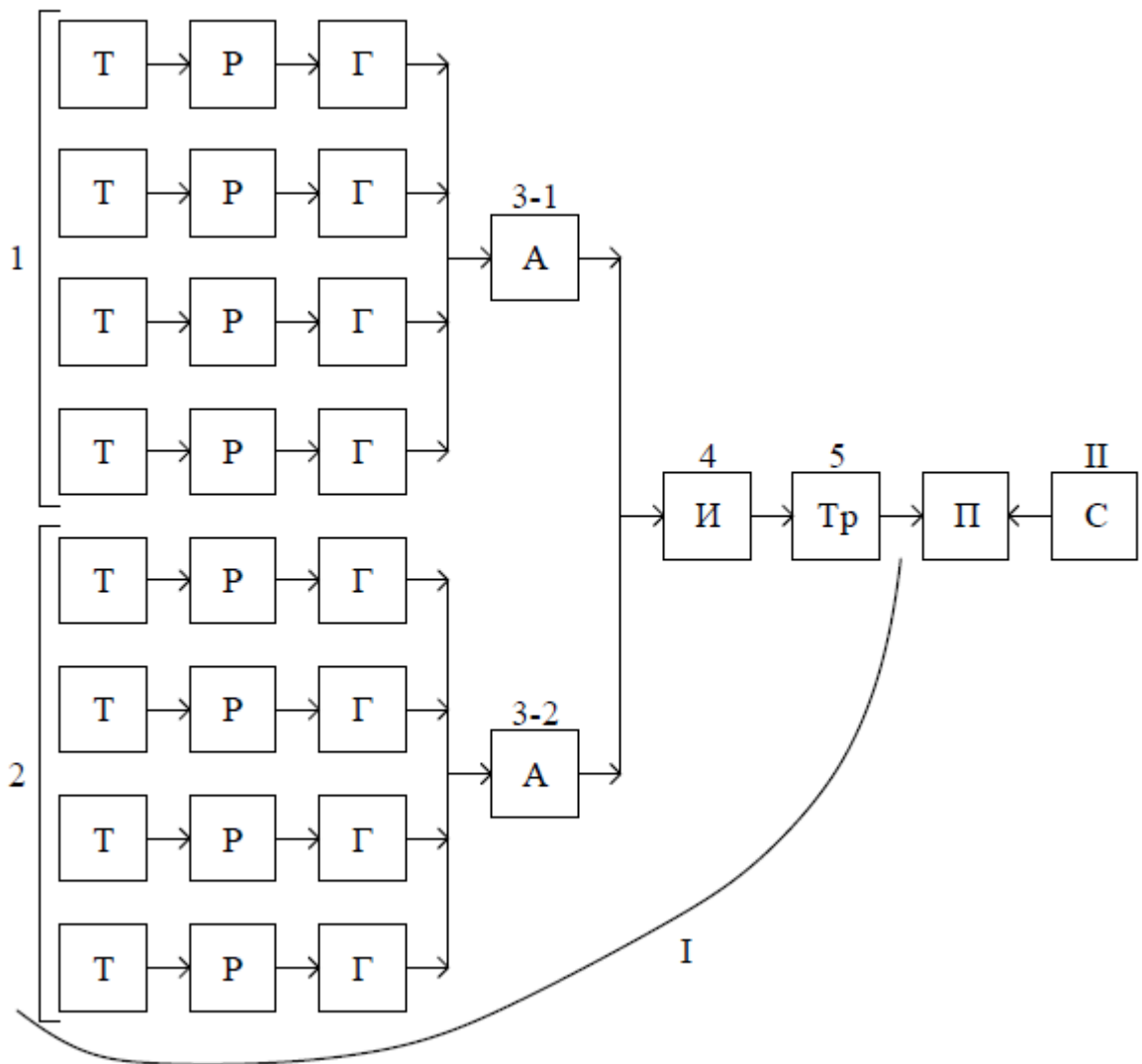


Рисунок 3.10 – Блок схема системи електропостачання споживача від генеруючого пристрою та централізованої енергосистеми:

Т - турбіна; Р - редуктор; Г - генератор; А - акумуляторна батарея; І - інвертор; Тр - трансформатор; П - споживач; С - загальна енергосистема

Розглянемо генеруючий пристрій, що складається з восьми перетворювачів, зібраних у дві групи по чотири штуки. Для накопичення виробленої енергії використовуються акумуляторні батареї, інвертор і трансформатор (рис. 3.10).

У випадку, якщо генеруючий пристрій з якихось причин не може постачати споживача електроенергією, будь то відсутність хвиль у морі або відмова будь-якої з компонентів пристрою, споживач підключається до загальної енергомережі.

У роботі розглядається сім можливих ситуацій, що не призводять до припинення подачі електроенергії споживачеві (рис. 3.11):

А - споживач живиться від генеруючого пристрою;

Б – перетворювач енергії хвиль 1 відмовив у момент часу τ , акумуляторна батарея 3-1 відмовила в момент часу ξ , в час t , що залишився t

– споживач живиться від загальної енергомережі;

В – перетворювач енергії хвиль 2 відмовив у момент часу τ , акумуляторна батарея 3-2 відмовила в момент часу ξ , в час, що залишився t

– споживач живиться від загальної енергомережі;

Г - акумуляторна батарея 3-1 відмовила в момент часу τ , в час $t - \tau$ споживач живиться від загальної енергомережі;

Д - акумуляторна батарея 3-2 відмовила в момент часу τ , в час $t - \tau$ споживач живиться від загальної енергомережі;

Е – інвертор 4 відмовив у момент часу τ , у час $t - \tau$ споживач живиться від загальної енергомережі;

Ж - трансформатор 5 відмовив в момент часу τ , в час $t - \tau$ споживач живиться від загальної енергомережі.

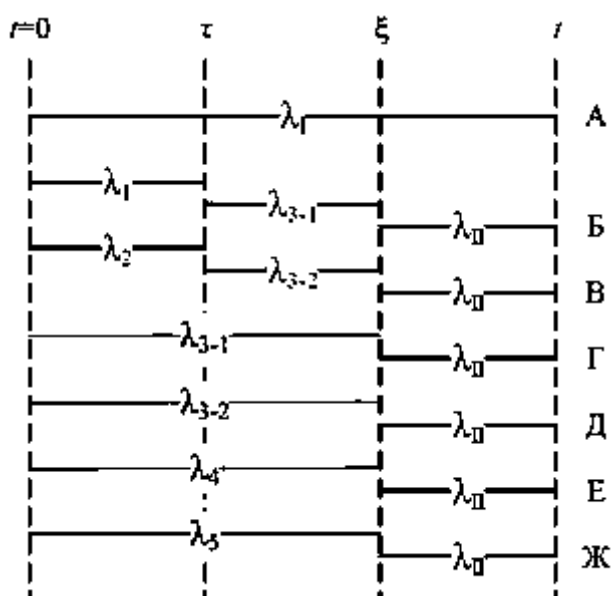


Рисунок 3.11 – Графік функціонування системи електропостачання споживача

λ_i – інтенсивність відмов i -тої компоненти перетворювача енергії хвиль

Вважаємо, що закон розподілу часу напрацювання повністю компонент перетворювача енергії хвиль експоненційний. Імовірність гіпотез можна записати в наступному вигляді:

$$P_A(t) = P_I(t) = e^{-\lambda_I t}; \quad (3.8)$$

$$P_B(t) = \int_0^t f_1(\tau) \int_{\tau}^t f_{3-1}(\xi) P_{II}(t-\xi) d\xi d\tau = \frac{\lambda_1 \lambda_{3-1}}{\lambda_1 + \lambda_{3-1} - \lambda_{II}} \left[e^{-t(\lambda_1 + \lambda_{3-1})} - 1 \right] \quad (3.9)$$

$$P_G(t) = \int_0^t f_{3-1}(\tau) P_{II}(t-\xi) d\tau = \frac{\lambda_{3-1}}{\lambda_{II} - \lambda_{3-1}} \left[e^{-\lambda_{3-1} t} - e^{-\lambda_{II} t} \right] \quad (3.10)$$

$$P_D(t) = \int_0^t f_{3-2}(\tau) P_{II}(t-\xi) d\tau = \frac{\lambda_{3-2}}{\lambda_{II} - \lambda_{3-2}} \left[e^{-\lambda_{3-2} t} - e^{-\lambda_{II} t} \right] \quad (3.11)$$

$$P_E(t) = \int_0^t f_4(t) P_{II}(t-\xi) dt = \frac{\lambda_4}{\lambda_{II} - \lambda_4} \left[e^{-\lambda_4 t} - e^{-\lambda_{II} t} \right] \quad (3.12)$$

$$P_{Ж}(t) = \int_0^t f_5(t) P_{II}(t-\xi) dt = \frac{\lambda_5}{\lambda_{II} - \lambda_5} \left[e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_{II} t} \right] \quad (3.13)$$

Значення відмов компонентів перетворювача енергії хвиль були взяті на підставі статистичних даних, представлених в опублікованих раніше роботах, і будуть становити:

$$\lambda_{турбіна} = 0,5248 \cdot 10^{-6} 1 / \text{г};$$

$$\lambda_{редуктор} = 0,5818 \cdot 10^{-6} 1 / \text{г};$$

$$\lambda_{генератор} = 0,132 \cdot 10^{-6} 1 / \text{г}; \text{ (для машин постійного струму).}$$

$\lambda_{аккумулятор} = \lambda_{3-1} = \lambda_{3-2} = 0,00754 \times 10^{-6} 1 / \text{г}; \text{ (для свинцево - кислотних акумуляторів).}$

$\lambda_{трансформатор} = \lambda_5 = 0,014 \times 10^{-6} 1 / \text{г}; \text{ (для трансформатора живлення).}$

Як відомо, надійність електропостачання споживачів оцінюється за показниками SAIDI та SAIFI, де SAIDI – це показник, що дорівнює середній тривалості перерв в електропостачанні на одного споживача на рік або відношенню загальної тривалості щорічних перерв у роботі системи до загальної кількості споживачів, а SAIFI - це показник, що дорівнює середній кількості перерв в електропостачанні на одного споживача на рік або відношенню кількості щорічних перерв у роботі системи до загальної кількості споживачів. Станом на 2021 рік ці показники у об'єднаних електромережах склали 0,61 годину та 0,41 шт, відповідно. Зважаючи на відсутність даних про інтенсивність відмов загальної енергосистеми для визначення цього параметра, були взяті статистичні дані для синхронної електричної машини змінного струму:

$$\lambda_{\text{енергосистеми}} = \lambda_{II} = 0,0004632 \cdot 10^{-6} / \text{г}. \quad (3.14)$$

Інтерес представляє розгляд кожної гіпотези окремо з метою виявлення найбільш ймовірної причини припинення електропостачання споживача з подальшим наданням рекомендацій щодо підвищення надійності.

Аналіз результатів моделювання показує, що на надійність електропостачання споживача від генеруючого пристрою значний вплив надає інвертор. Це є наслідком того, що інтенсивність його відмов максимальна серед компонентів пристрою. Зі збільшенням терміну експлуатації пристрою саме зростання ймовірності відмови інвертора негативно впливає на показники надійності роботи всього генеруючого пристрою.

Для проміжків часу, що розглядаються, ймовірність відмови компонентів 1 і 2, що складаються з 4 блоків Турбіна-Редуктор-Генератор кожен, з подальшою відмовою акумуляторної батареї дорівнює 0. Ймовірність відмови акумуляторних батарей і трансформатора незначна.

3.5 Вибір контролера заряду

Для нашого випадку підходить контролер заряду компанії Hefei Win Power Контролер моделі WWS10A-48-E. Контролер для генератора та сонячних панелей, потужністю 1,5 кВт, 48 В. На корпусі передбачені вушка (4 шт.) для навісного виконання.

Контролер підходить для генераторів будь-якого виробника потужністю від 1 кВт до 3 кВт, з трифазним виходом на контролер та напругою на фазах генератора від 10В до 120В.

Виробник: Hefei Win Power (Китай);

Торгова назва: WWS10A-48-E;

Номінальна напруга: 48 В;

Номінальна потужність: 1500 ват - для генератора;

Максимальна потужність: 2000 Вт - для генератора;

Робоча потужність: 300 Вт - для сонячних модулів;

Технологія: PWM (ШИМ);

Максимальний струм від генератора: 40А;

Максимальний струм від СБ: 10А (СБ – сонячні батареї); ККД - 95%;

Гарантія: 1 рік.

3.6 Розрахунок та вибір акумуляторних батарей

Визначимо кількість ампер-годин на тиждень, потрібну для покриття навантаження:

$$q_{тиж}^{пер} = \frac{W_{сп}}{U_{інв}} \cdot \quad (3.15)$$

де $U_{інв}$ - вибраний інвертор має вхідну напругу 24В;

$W_{сп} = 1223$ кВт·год/тиждень - споживання електроенергії.

$$q_{\text{тиж}}^{\text{пер}} = \frac{1223 \cdot 10^3}{24} = 49000 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Добове значення споживаних А · год:

$$q_n = q_{\text{доб}} \cdot N_{\text{бс}}. \quad (3.16)$$

$$q_n = 7000 \cdot 1 = 7000 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Задаємося величиною глибини розряду акумуляторної батареї. Оскільки використовуватимуться тягові акумулятори глибокого розряду, глибину розряду можна прийняти 70%. Відповідно коефіцієнт використання $y = 0,7$.

Заряд акумуляторних батарей з урахуванням глибини розряду:

$$q_y = \frac{q_n}{y}. \quad (3.17)$$

$$q_y = \frac{7000}{0,7} = 10000 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Вибираємо акумуляторну батарею Мікроарт з номінальною напругою $U_{\text{ном}} = 2 \text{ В}$, ємністю $q_{\text{ном}} = 960 \text{ А} \cdot \text{год}$ (табл. 3.4).

Акумулятори по 2 В, що мають ємність до 1000 А·год, що дозволяє знижувати їхню загальну кількість, а отже, підвищувати надійність.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики акумуляторної батареї

Найменування	Акумулятор тяговий 2 В, 960 А · год (глибокого розряду) Виробник Мікроарт
Категорія товару	АКБ тягові, для автономних та резервних систем
U, В	2,0
Ємність, А · ч	960
Габарити [В×Г×Ш], см	66×16×20
Ціна, грн.	16200,00

Кількість батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{пар}^{АКБ} = \frac{q_{общ}}{q_{ном}}. \quad (3.18)$$

$$N_{пар}^{АКБ} = \frac{11100}{960} = 11,56 \text{ шт.}$$

Приймаємо 12 штук.

Кількість батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{пос}^{АКБ} = \frac{U_{інв}}{U_{ном}}. \quad (3.19)$$

$$N_{пос}^{АКБ} = \frac{48}{2} = 24 \text{ шт.}$$

Загальна кількість акумуляторних батарей:

$$N^{АКБ} = N_{пар}^{АКБ} \cdot N_{пос}^{АКБ}. \quad (3.20)$$

$$N^{АКБ} = 12 \cdot 24 = 228 \text{ шт.}$$

3.7 Розрахунок та вибір інвертора струму

Енергії постійного струму з урахуванням втрат на інвертор потрібно

$$W_{спож} = W_{спож} \cdot k. \quad (3.21)$$

де $W_{спож} = 168 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ - добове споживання електроенергії;

k - коефіцієнт корисної дії на інверторі, 0,96.

В якості $W_{спож}$ приймемо тижневе споживання електроенергії:

$$W_{спож} = 7 \cdot 7 \cdot 24 = 1176 \text{ кВт} \cdot \text{год. /тиждень.}$$

$$W_{спож} = 1179 \cdot 0,96 = 1129 \text{ кВт} \cdot \text{год. /тиждень.}$$

$$P_{інв} = \frac{W_{спож}}{n \cdot t_i}. \quad (3.22)$$

де:

n - кількість днів тижня;

t_i - кількість годин на добу.

$$P_{инв} = \frac{W_{спож}}{7 \cdot 24} = \frac{1223 \cdot 10^3}{7 \cdot 24} = 7,28 \text{ кВт.}$$

Вибираємо інвертор фірми МАП «Енергія» характеристика якого наведена у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика інвертора МАП «Енергія»

Категорія товару	МАП Pro 24В
Потужність, кВт	6,00
ККД, %	96
U, В	24,0
U _{вих.} , В	220,00
Частота, Гц	50
Пікова потужність, кВт	8,00
Максимальна потужність, кВт	6,00
Номінальна потужність, кВт	4,00
Власне споживання на хх, Вт	9,6 - 14,4
Вбудований	ні
Вбудована мережна плата	ні
Реле керування генератором або ін.	ні
Робочий температурний діапазон, °С	- 25...50
Габарити [В×Г×Ш], см	18×37×51
Маса без упаковки, кг	31,60
Ціна, грн.	105000,00

Функції інвертора:

- відображення напруги, струмів, режимів роботи та ін. на екрані.
- регульована чотириступінчаста система заряду будь-яких акумуляторів, з термокомпенсацією;
- наявність байпасу;

- точне підстроювання значення вихідної напруги, з можливістю встановлення його величини за бажанням користувача (в режимі генерації напруги від МАП);

- можливість, за бажанням користувача, змінювати пороги напруг початку/кінця заряду;

- розрахунок падіння напруги на проводах до АКБ залежно від струму та відповідне коригування напруги;

- можливість зв'язку з іншими пристроями по шині I2C для їх коректної роботи (сонячні контролери КЕС, BMS для літій-залізофосфатні АКБ та ін.).

3.8 Економічне обґрунтування

Проведемо економічний розрахунок для електростанції, що включає 7 ділянок на кожній з яких розташовано по 8 поплавків з генераторами постійного струму. Потужність одного генератора складає 3 кВт.

Початкові витрати, необхідні реалізації проекту з генерації електроенергії з допомогою хвильової електростанції наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вартість інвестиційного проекту

№ п/п	Найменування	К-сть	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
1	Поплавок	8×7	76850	4 303 600
2	Генератор постійного струму	8×7	23400	1 310 400
3	Акумуляторна батарея 960 А·год	226	14200	3 209 200
4	Контролер заряду	84	38101	3 200 484
5	З'єднувальний кабель	2000 м	157	314 000
6	Кабельна лінія сторони високої напруги	100 м	1 242	124 200
7	Трансформатор 250/10/0,4	1	220 000	220 000
8	Інвертор	28	105 000	2 940 000
			Разом ∑	15 621 884

Номинальна потужність електростанції складає 168 кВт. Генерація з номінальною потужністю здійснюється при висоті хвиль від 0,75 до 1,5 м. При менших висотах хвиль, наприклад, влітку, генеруються менші потужності. Приймаємо, що генерація відбувається не цілий рік і можуть спостерігатися штилі, відповідно $W = 981120$ кВт·год.

Граничний максимальний рівень тарифів на послуги з передачі електричної енергії для населення та прирівняних до нього категорій споживачів дорівнює $T_T = 2,64$ грн./кВт·год (станом на 01.12.2023 року).

Отже:

$$D = T_T \cdot W = 2,64 \cdot 981120 = 2\,590\,157 \text{ грн.} \quad (3.23)$$

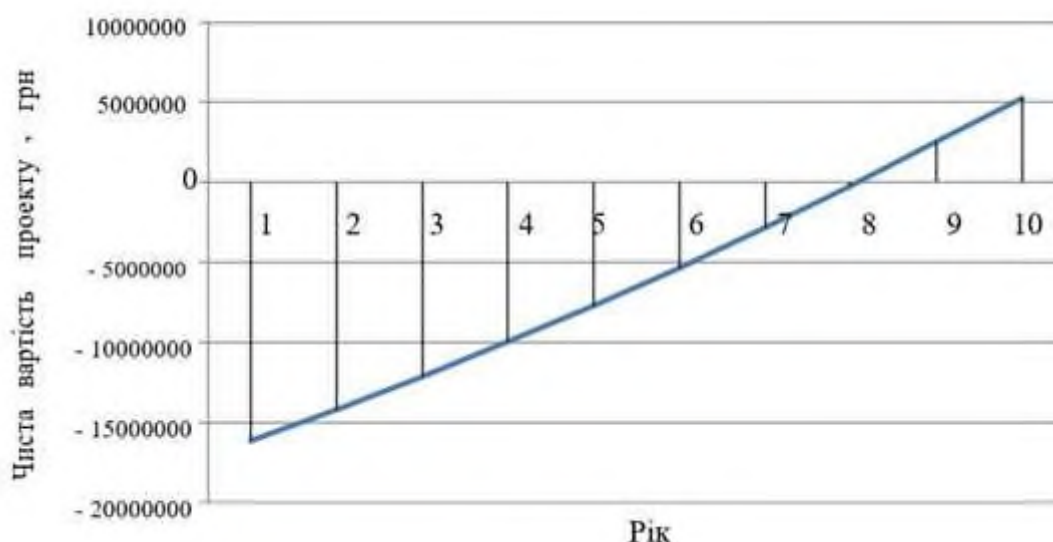


Рисунок 3.12 – Графік чистої вартості проекту та терміну окупності

Таким чином, термін окупності проекту становитиме не менше 8 років. Він має бути порівняним із термінами окупності альтернативних проектів, щоб забезпечити конкурентоспроможність та «виживання» в ринкових умовах.

3.9 Висновки до розділу 3

1. Запропоновано конструкцію енергоагрегату для хвильової електростанції. Виготовлено модель пристрою. Проведено дослідження дослідної моделі енергоагрегату, за отриманими даними побудовано графіки.

2. Отримано рівняння для оцінки надійності роботи системи електрогенерації з використанням 8 енергоагрегатів. Енергоагрегат складається з турбіни, редуктора, електричного генератора постійного струму, акумуляторної батареї, інвертора.

3. Проведено економічний розрахунок інвестиційного проекту для електростанції, що включає 7 ділянок, на кожній з яких розташовано по 8 енергоагрегатів поплавкового типу з генератором постійного струму. Визначено термін окупності проекту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувани: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню. При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться:

- 1) оформлення роботи по наряду-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;

- 2) допуск до роботи;
- 3) нагляд під час роботи;
- 4) оформлення перерви під час роботи;
- 5) переводи на інше робоче місце.

Наряд-допуск - це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час її початку та закінчення, умови її безпечного виконання, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. Відповідальними за безпечне виконання робіт є: особа, що видала наряд; котра дає розпорядження; особа, що допускає до роботи; керівник роботи; виконавець роботи; спостережник; член бригади.

Всі роботи, котрі виконуються в ЕУ без наряду, виконуються:

- 1) за розпорядженням осіб, уповноважених на це, з оформленням в оперативному журналі;
- 2) в порядку поточної експлуатації з подальшим записом в оперативному журналі.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, що визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки. Воно має разовий характер, видається на один вид роботи і діє протягом однієї зміни.

За розпорядженням можуть виконуватись:

- а) позапланові роботи, викликані виробничою необхідністю, тривалістю до 1 год.;
- б) роботи без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою, тривалістю не більше однієї зміни;
- в) роботи зі зняттям напруги з електроустановок напругою до 1000 В тривалістю не більше однієї зміни.

Поточна експлуатація - це проведення оперативним персоналом самостійно на закріпленій за ним ділянці протягом однієї зміни робіт за спеціальним переліком.

До організаційних заходів в цьому випадку відноситься складання, відповідальним за електрогосподарство, переліку робіт стосовно конкретних

умов.

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться:

- 1) необхідні вимкнення та вжиття заходів, котрі запобігають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або довільного ввімкнення комутаційної апаратури;
- 2) вивішування на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комунікаційної апаратури (автомати, рубильники, вимикачі) забороняючих плакатів;
- 3) перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- 4) накладання заземлення;
- 5) вивішування попереджувальних та припису вальних плакатів, огороження, при необхідності, робочих місць та струмоведучих частин, які залишилися під напругою.

4.2 Правила безперебійної роботи гідротурбінного обладнання

Під час експлуатації гідротурбінного устаткування повинна бути забезпечена безперебійна робота з максимально можливим для заданого навантаження і діючого напору коефіцієнтом корисної дії.

Гідроагрегати повинні працювати з повністю відкритими заслонами, установленими на турбінних водоводах. Граничне відкриття направляючого апарату гідротурбіни повинне відповідати максимально допустимому навантаженню гідроагрегату (генератора, генератора - двигуна) при даному напорі. Перепад рівнів на сміттєзбиральних ґратах не повинен перевищувати граничного значення.

Умови, які дозволяють пуск гідроагрегату, його нормальну та аварійну зупинку та незаплановану зміну навантаження повинні бути викладені в інструкціях з експлуатації, затверджених технічним керівником ГЕС, які знаходяться на робочих місцях оперативного персоналу. Значення всіх параметрів, які визначають умови пуску гідроагрегату та режим його роботи, повинні бути встановлені на підставі рекомендацій виробника та спеціальних

випробувань.

Пуск гідроагрегату забороняється у таких випадках:

- при напорі , що виходить за межі допустимих значень, встановлених заводом-виробником гідротурбін;
- при несправності будь-якого із захистів, що діють на зупин устаткування;
- при дефектах системи регулювання гідроагрегату, що можуть призвести до перешкод у регулювання і нормального керування гідроагрегатом;
- при несправності пристроїв дистанційного керування, клапанів зривання вакууму, клапанів впуску повітря і системи гальмування гідроагрегату;
- при якості оливи, що не задовольняє норми експлуатаційні оливи і температурі нижчій від встановленої інструкціями заводу-виробника;
- при рівні оливи у підшипниках, зливному баці і повітряному котлі оливо напірної установки, нижчому від встановленого інструкціями заводу-виробника.

Під час експлуатації гідроагрегату шляхом огляду і систематичних вимірювань за допомогою стаціонарних і переносних приладів повинен бути організований контроль за роботою устаткування з періодичністю, вказаною в інструкціях з експлуатації.

Система технічного водопостачання гідроагрегату повинна забезпечувати охолодження опорних вузлів, статора і ротора генератора, змащення гумового турбінного підшипника та інших споживачів у всіх режимах роботи гідроагрегату.

Капітальний ремонт гідротурбін повинен проводитися один раз на 5-7 років. В окремих випадках за узгодженим дозволом допускається відхилення від установлених термінів.

4.3 Заходи для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання

Експлуатація обладнання неминуче пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних

заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах теплопостачання споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електроцист. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробою ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал котельень проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при $f = 50$ Гц) викликає судомі м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

Заходи по захисту, поділяють на заходи, які забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок, і заходи, які забезпечують

безпеку при аварійних режимах. При нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлювані частини з заземлювачем. В якості заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установка автоматичного відключення, яка застосовується на котельнях повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

4.4 Забезпечення проведення рятувальних та інших невідкладних робіт

Всебічне забезпечення дій формувань – одна із вирішальних умов успішного проведення РіНР. Організація і проведення цієї роботи покладається на начальника ЦО, начальників служб і командирів формувань. Забезпечення дій формувань при проведенні РіНР включає; розвідку, радіаційний і хімічний захист, матеріальне, технічне та медичне забезпечення.

Безперервне забезпечення формувань проводиться з метою отримання даних обстановки, зниження дії уражаючих факторів надзвичайних ситуацій та створення сприятливих умов для проведення РіНР.

Розвідка – основний вид забезпечення дій формувань. Вона організовується та ведеться з метою своєчасного добування даних про обстановку для прийняття рішення і успішного проведення РІНР в осередках ураження, в районах стихійного лиха, аварій та катастроф. Розвідка ведеться безперервно всіма формуваннями.

Організація розвідки – важливий обов'язок начальника ЦО об'єкта і командирів формувань. Командир формування (начальник штабу) ставить завдання розвідці, виділяє необхідні для цього сили і засоби і вказує, де зосередити основні зусилля.

Забезпечення радіаційно-хімічного захисту. Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів щодо захисту формувань, а командири формувань забезпечують їх виконання. На це спрямовано ряд узгоджених заходів:

- організовують безперервну розвідку, чіткі дії за сигналами оповіщення, здійснюють інженерне улаштування районів розташування формувань враховуючи захисні властивості місцевості;

- здійснюють постійний контроль за зараженістю повітря та місцевості, безпекою формувань при діях у зонах формувань, завалів, пожеж, зараження, затоплення, проведенням профілактичних заходів. Важливе значення в системі захисних заходів відведено санітарній обробці особового складу формувань, знезараженню техніки та майна, а також забезпеченню формувань засобами захисту.

Начальник ЦО об'єкта організовує та керує проведенням заходів радіаційного і хімічного захисту, а командири формувань забезпечують виконання усіх заходів.

Командир формування при організації захисту вказує:

- як організувати і вести розвідку;
- сигнали оповіщення;
- обсяг та терміни інженерного улаштування районів розташування;
- порядок проведення контролю на зараженість;

– міри безпеки, обсяг робіт, сили та засоби, що необхідні для ліквідації наслідків НС;

– де і коли проводити спеціальну обробку.

Матеріальне забезпечення передбачає організацію і здійснення своєчасного та в повному обсязі постачання формувань технікою, засобами захисту, зв'язку, приладами радіаційної і хімічної розвідки та іншими засобами, необхідними для проведення РІНР і вирішення завдань ЦО.

Технічне забезпечення організовується для підтримування у справному стані і в постійній готовності до використання усіх видів автотранспортної, інженерної та іншої техніки. Завдання технічного забезпечення: організація евакуації та поточного ремонту техніки, постачання формувань запасними частинами і ремонтними матеріалами та технічне обслуговування машин.

Технічне забезпечення організовує командир формування. У своєму розпорядженні він вказує: терміни готовності техніки до виконання завдань; залучені сили та засоби для ремонту та евакуації техніки; порядок поповнення запасними частинами і ремонтними матеріалами; місця розгортання збірних пунктів пошкоджених машин; порядок управління та зв'язку.

Медичне забезпечення організовується та здійснюється для збереження здоров'я і працездатності особового складу формувань, своєчасного надання медичної допомоги пораненим і хворим, їх евакуація, лікування та найшвидше повернення до лав діючих, а також для попередження виникнення інфекційних захворювань серед особового складу формувань. Медичне забезпечення передбачає: лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні, протиепідемічні і лікувально-евакуаційні заходи. Ці заходи проводяться медичною службою Цивільної оборони об'єкта на усіх етапах дій формувань.

Медичний пункт при проведенні РІНР розгортається безпосередньо на ділянці (об'єкті) робіт формування, на місці, яке зручне для перенесення ураженого особового складу на транспорт і забезпечує його захист в умовах надзвичайних ситуацій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. Отримано рівняння хвилі яке дозволяє визначити кінетичну енергію морської хвилі, а, отже, оцінити потенціал використання енергії хвиль Чорного моря за різних умов, зумовлених кліматичними факторами. Отримана сумарна енергія морської хвилі висотою 1,5 м, швидкістю 3 м/с, масою 1594 кг склала 43961 Дж, при цьому 7173 Дж - кінетична енергія та 36788 Дж - потенційна.

2. Запропоновано конструкцію перетворювача енергії хвиль поплавкового типу в вигляді герметичної посудини, всередині якої під дією коливань морської поверхні поршень перекачує газ, приводячи в рух турбіну і генератор, має високу надійність через наявність невеликої кількості складових елементів і відсутності безпосереднього контакту внутрішньої порожнини, де розташований генератор, з морською водою.

3. Було проведено дослідження перетворювача які включали заміну повітря в експериментальному зразку на вуглекислий газ та зміну висоти коливань, що дозволило оцінити основні електричні параметри, такі як струм, напругу та потужність у різних умовах з метою виявлення найбільш ефективного робочого середовища. В результаті дослідження вихідна потужність склала 4,4 Вт, при висоті коливання 0,25 метра, а при заміні повітря вуглекислим газом великої густини вихідна потужність генератора склала 7,2 Вт.

4. Проведене математичне моделювання перетворювача показало ефективність роботи перетворювача при заданих характеристиках хвиль та пара-метрах самого перетворювача. При висоті та періоді морської хвилі, які дорівнюють до 2 м та 1,79 с, відповідно, що характерно для вод Чорноморського узбережжя, виробництво електричної енергії може складати до 72 кВт·год/добу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пихач В.І. Оцінка енергоефективності застосування хвильових гідроенергетичних перетворювачів в системах електропостачання. // І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, В.І. Пихач // Збірник тез доповідей. Матеріали XII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 6 - 7 грудня 2023р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2023.
2. Енергетичні ресурси та потоки. К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. 472 С.
3. «Про альтернативні джерела енергії»: закон України // Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24. – С. 155.
4. Міжнародна енергетична агенція (ІЕА). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/>.
5. Капітанчук К. І., Андрієшин М. П. Методика визначення потужності морської хвильової електростанції з гнучким енергопоглинальним елементом. Наукоємні технології. 2020. №1 (45). С. 78–84. doi.org/10.18372/2310-5461.45.14574.
6. Капітанчук К. І., Овсянкін В. В. Досвід розробки та впровадження хвильової електричної станції. Матеріали XIV Міжнар. наук.-тех. конф. АС Промислова гідравліка і пневматика – Одеса: «ГЛОБУС-ПРЕС». 2013. С. 126–127.
7. Патент України №56481. Пристрій для перетворення енергії хвиль водної поверхні. МКИ7 F03B13/12.
8. Греков П. І., Капітанчук К. І., Овсянкін В. В. Методика розрахунку глибини занурення морської енергетичної станції при збільшенні висоти хвиль. Вісник НАУ. 2006. №4(30). С. 166–168. doi.org/10.18372/2306-1472.30.1399.
9. Капітанчук К. І., Андрієшин М. П. Розрахунок подовження енергопоглинального елемента морської хвильової електростанції

трансформації спіралі у площину. Наукоємні технології. 2018. №3 (39). С.387-392. doi.org/10.18372/2310-5461.39.13097.

10. Капітанчук К. І., Андрійшин М. П. Методика визначення сил та моментів, що діють на поверхню енергопоглинального елемента морської хвильової електростанції при різному збуренні поверхні моря. Наукоємні технології. 2018. №4 (40). С. 443–449. doi.org/10.18372/2310–5461.40.13270.

11. Ращепкін А.П., Кондратенко І.П., Карлов О.М., Крищук Р.С. Магнітоелектричний перетворювач енергії морських хвиль. Технічна електродинаміка. 2021. № 4. С. 25–34. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.025>

12. М. М. Кузьміна. Поняття та види енергії з альтернативних джерел // Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого» № 3 (14) 2013.

13. Колчунов В. І. Теоретична та прикладна гідромеханіка: Навч. посібник. К.: НАУ, 2004. 336 с.

14. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-19>.

15. Башинська Ю., Гамкало З. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. URL: https://www.researchgate.net/publication/328465529_NETRADICIJNI_TAVIDNOVLUVALNI_DZERELA_ENERGII_Lvivska_oblast_prirodni_umovi_ta_resursi (дата звернення 10.12.2023)

16. Бригінець В.П., Подласов С.О. ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. ЕЛЕКТРИКА ІМАГНЕТИЗМ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. URL: <http://physics.zffft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=297&chapterid=47> (дата звернення 10.12.2023).

17. Гаврилюк Д. В., Козленко О. В., Лисенко В. М., Мельник М. М. / Патент "Електричний генератор"// Номер патенту: 116993.

18. Генератор. Будова генератора і принцип дії. URL: http://gpl.co.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=130:generator-the-structure-and-principle-of-the-generator&catid=34:special-subjects&Itemid=169 (дата звернення 10.12.2023).

19. Стимулювання відновлюваної енергетики в Україні за допомогою «зеленого» тарифу. Посібник для інвесторів. Міжнародна фінансова корпорація (IFC). Київ. 2017 р. 80 с.

20. Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф., Смуригін В.М., Ковальов О.В., Вужицький А.В. / Електричні машини і апарати: навчальний посібник / К.: Аграрна освіта, 2013 . С. 108-109.

21. Настасенко В. О. Перспективи розвитку гідрохвильових електростанцій та особливості охорони праці і безпеки їх експлуатації. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2013. № 2. С. 130-139.

22. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. - 156 с.

23. Jeongrok Kim, Dongeun Kim, Arun George, Il-Hyoung Cho. Experimental study of multiple hemisphere wave energy converters arrayed in a water channel resonator. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2023. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2023.100513>.

24. Omar Farrok, Koushik Ahmed, Abdirazak Dahir Tahlil, Mohamud Mohamed Farah, Mahbubur Rahman Kiran, Md. Rabiul Islam. Electrical power generation from the oceanic wave for sustainable advancement in renewable energy. Technologies Sustainability. 2020. Vol. 12(6). Pp. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062178>.

25. Boxi Jiang, Xiaofan Li, Shuo Chen, Qiuchi Xiong, Bang-fuh Chen, Robert G. Parker, Lei Zuo. Performance analysis and tank test validation of a hybrid ocean wave-current energy converter with a single power takeoff. Energy Conversion and Management. 2020. Vol. 224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113268>.