

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи та практичних робіт для магістрів з
дисципліни

**ОКЕАНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**
розділ "Акустика і оптика океану"

«Узгоджено»

на факультеті магістерської та аспірантської
підготовки

Декан _____ Боровська Г.О.

«Затверджено»

на засіданні каф. океанології та морського
природокористування

Протокол № 1 від « 28 » 08 2018р.

Зав. кафедрою

проф. Берлінський М.А. _____

Одеса 2018

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи та практичних робіт для магістрів з
дисципліни

**ОКЕАНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**
розділ "Акустика і оптика океану"

Одеса 2018

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи та практичних робіт для магістрів з
дисципліни

**ОКЕАНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МОРЕГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**
розділ "Акустика і оптика океану"

«Узгоджено»

на факультеті магістерської та аспірантської
підготовки ОДЕКУ

Одеса 2018

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів та виконання практичних робіт при вивченні дисципліни „Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності” (розділ "Акустика і оптика океану") заочної форми навчання рівень вищої освіти – «магістр»/ Рубан І.Г. – Одеса, ОДЕКУ, 2018. – 42 с.

ЗМІСТ

1	ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	4
1.1	Передмова.....	4
	Зміст змістовного модуля «Акустика і оптика океану»	
1.2	дисципліни «“Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності”»	6
1.3	Перелік навчальної літератури.....	7
1.4	Перелік знань та вмінь студента.....	8
2	ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА.....	9
2.1	Загальні поради.....	9
2.2	Повчання по вивченню теоретичної частини курсу.....	9
2.2.1	Повчання по вивченню теми 1.....	9
2.2.2	Повчання по вивченню теми 2.....	15
2.2.3	Повчання по вивченню теми 3.....	19
2.4	Повчання по виконанню практичної частини курсу.....	23
2.4.1	Практична робота 1.....	28
2.4.2	Практична робота 2.....	31
2.4.2	Практична робота 3.....	35
3	ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ СТУДЕНТІВ	40
3.1	Методика оцінки всіх видів підготовки студентів.....	40
3.2	Перелік базових знань та вмінь.....	41

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Передмова

Дисципліна “Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності” (розділ «Акустика і оптика океану» є обов’язковою для підготовки океанологів рівня вищої освіти «магістр» і є базою для підготовки магістерської роботи за спеціалізацією «океанологія» та використовується ними в їх практичній діяльності.

Загальний обсяг навчального часу визначається робочим навчальним планом.

Вивчення дисципліни «Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності» базується на вузівських курсах «Вища математика», «Фізика океану», «Фізична океанологія», «Фізика атмосфери», „Взаємодія океану та атмосфери”, „Регіональна океанологія”, ”Морські гідрологічні прогнози”.

У подальшому буде використовуватися у виконанні магістерської роботи

В межах першого семестру дисципліна складається з блоку «Довготермінові морські прогнози», а в межах другого семестру дисципліна складається з блоку «Акустика і оптика океану».

Метою блоку «Акустика і оптика океану» є поглиблене вивчення розділів фізики океану, які можуть бути потрібні спеціалістам в галузі гідрометеорології у їх практичній діяльності. Практична значимість цього розділу полягає у необхідності використання знань в галузі акустики та оптики океану у гідрографічних дослідженнях, при конструюванні нових океанологічних приладів та у військових цілях. Таким чином, **завданням** розділу дисципліни є надання знань з окремих питань акустики і оптики океану та вміння використовувати ці знання для практичних потреб народного господарства. Внаслідок вивчення цих питань студент повинен **знати:** основні закономірності розповсюдження світла та звуку в океанічному середовищі, вплив різних явищ на таке розповсюдження, особливості цих параметрів у різних регіонах Світового океану та практичне використання цих характеристик. Студент повинен також **вміти:** обчислювати швидкість розповсюдження звуку в різних умовах, розраховувати характеристики підводного звукового каналу, оцінювати оптичні характеристики океанічних вод, та знати галузі і умови їх практичного використання.

Базові знання та вміння. В результаті опанування другим розділом цієї дисципліни студент повинен **знати**

- основні закономірності розповсюдження світла і звуку в морському середовищі;
- вплив різних явищ на це розповсюдження ;
- принципові риси мінливості швидкості звуку в океані ;
- типи хвильового рівняння та принципи його рішення ;
- хвильовий та променевий підхід до опису звукових полів;
- оптичні властивості морської води ;
- їх залежність від параметрів морського середовища ;
- закономірності розповсюдження світла у воді.

Студент повинен **вміти:**

- обчислювати швидкість звуку різними методами, враховуючи недоліки кожного з них;
- розраховувати траєкторію звукового променя при заданих умовах;
- оцінювати оптичні характеристики океанських вод;
- провести аналіз розподілу таких оптичних параметрів як прозорість та освітленість морської води ;
- розраховувати альбедо на морській поверхні при різних умовах.

Отримані студентами знання та вміння використовуються при курсовому проектуванні та в магістерській роботі.

1.2 Зміст розділу "Акустика і оптика океану" дисципліни «Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності»

Теоретична частина:

ВСТУП.

Тема 1. Акустичні властивості морської води. Основні положення променевої акустики.

В рамках теми повинні бути розглянуті наступні питання:

- Розповсюдження акустичних коливань.
- Хвильове рівняння.
- Типи акустичних хвиль.
- Зв'язок акустичного тиску, коливальної швидкості та її потенціалу.
- Відбиття та заломлення звукового променя на плоскому кордоні двох середовищ.
- Коефіцієнти відбиття та пропускання.
- Поглинення звука різної частоти в морській воді.
- Розсіювання звуку. Основні розсіювачі.
- Основні положення реверберації в океані.

Тема 2. Хвильове розповсюдження звуку в океані та його теорія.

Питання до теми:

- Підводний хвильовий канал.
- Фокусіровка звукових променів.
- Енергетичні характеристики акустичного поля.
- Інтенсивність звуку.
- Каустики.
- Енергетика підводного звукового каналу, структура акустичного поля

Тема 3. Основні характеристики оптичних властивостей морської води

Питання до теми:

- Поглинення світла морською водою.
- Розсіювання світла.
- Загальне ослаблення світла в морській воді.
- Залежність оптичних характеристик від кількісного та якісного складу розчинених та замулених речовин.
- Підводна освітленість.
- Закономірності зміни освітлення з глибиною, вплив поверхневого хвилювання.
- Зміни спектрального складу світла.
- Колір моря.

- Методи визначення кольору океану.
- Спектр випромінювання океану, залежність від показників поглинення та розсіювання.

Практична частина:

Тема 1 Розрахунок швидкості розповсюдження звуку.

Тема 2 Визначення елементів підводного звукового каналу в океані

Тема 3 Розрахунок характеристик повного циклу звукового променя у підводному звуковому каналі

1.3 Перелік навчальної літератури

Основна

- 1 Шулейкин В.В. Физика моря.- М: Наука, 1968, 520 с.
- 2 Доронин Ю.П. Физика океана - Л.: Гидрометеиздат, 1978.-236 с.
- 3 Ерлов Н.Г. Оптика моря.- Л.: Гидрометеиздат, 1980.-236 с.
- 4 Сташкевич А.П. Акустика моря.- Л.: Судостроение, 1966,-295 с.
- 5 Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Акустика та оптика океану». Укладач доц..Рубан І.Г., Одеса, 2003.
- 6 www.library-odeku.16mb.com

2 Додаткова

- 7 Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч.1. Одномерный анализ.- Л.: Изд.ЛГМИ, 1991.-136 с.
- 8 Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч.2. Многомерный анализ.- СПб.: Изд.РГГМИ, 1992.-96 с.
- 9 Андреева И.В. Физические основы распространения звука в океане.- Л.: Гидрометеиздат, 1975.-276 с.

1.4 Перелік знань та вмінь студента

В результаті вивчення даного розділу дисципліни магістри повинні знати:

- швидкість звуку у воді, її зв'язок з пружністю і стисканням морської води;
- залежність швидкості звуку від температури, солоності і тиску;
- хвильові та променеві підходи опису акустичного поля;
- хвильове рівняння;
- типи акустичних хвиль;
- променевий підхід до опису акустичних властивостей морського середовища;
- впливом хвилювання на відбиття звуку;
- теорією реверберації;
- хвильовий підхід для опису звукового поля
- енергетичні характеристики акустичного поля, інтенсивність звуку
- класифікація шумів у морі.
- основні характеристики оптичних властивостей морської води;
- залежність оптичних характеристик від кількісного та якісного складу розчинених та замулених речовин;
- відбиття і заломлення світла поверхнею океану, вплив хвилювання;
- підводна освітленість;
- колір моря;
- розподіл основних оптичних характеристик у водах Світового океану.
-

В результаті вивчення даного розділу дисципліни магістри повинні вміти:

- розраховувати швидкість звуку різними методами;
- враховувати недоліки кожного з них;
- розраховувати траєкторію звукового променя при заданих умовах
- аналізувати отримані результати та вміти робити висновки.
- провести аналіз розподілу таких оптичних параметрів як прозорість та освітленість морської води;
- розраховувати альбедо на морській поверхні при різних умовах;
- аналізувати отримані результати та вміти робити висновки.

2 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

2.1 Загальні поради

Студент вивчає тему та відповідає на контрольні запитання. При виникненні запитань студент звертається до викладача. Якщо з даної теми є практична робота, він приступає до виконання практичного завдання. Під час аудиторних практичних занять викладач проводить усне опитування з нижче наведених тем.

Метою даних методичних вказівок є допомога студенту при самостійному вивченні окремих розділів дисципліни та підготовці до практичних робіт.

Для самостійного вивчення дисципліни рекомендовано користуватися навчальною літературою, яка є в бібліотеці університету та на кафедрі океанології та морського природокористування. Поточна та підсумкова оцінка рівня знань студентів здійснюється за модульною системою. Теми теоретичної частини методичних вказівок відповідають розділам робочої програми.

2.2 Повчання по вивченню теоретичної частини курсу

2.2.1 Повчання по вивченню теми 1: «Акустичні властивості морської води. Основні положення променевої акустики.»

ЛІТЕРАТУРА [1: С. 758-800, 2: С.249-278, 4]

Звукові хвилі - єдиний вид хвиль, які можуть розповсюджуватися у морській воді без значного послаблення на значні відстані (кілька тисяч кілометрів для низьких частот звуку). Електромагнітні хвилі і, навіть, потужний промінь лазера можуть проходити у товщу морської води не більш ніж на кілометр. У морських експериментах звук від невеликих вибухів відчувався на відстані 22 тис. км., а монохроматичний звук - на відстані до 28 тис. км.

Без використання звуку не обходиться ні одна наука про океан. Тільки завдяки вельми нескладному, але важливому акустичному приладу-ехолоту, непогано вивчено рельєф дна Світового океану та прилеглих морів. За його допомогою були відкриті потужні системи серединних океанічних хребтів. Це відкриття стало підґрунтям нової теорії земної кори. За допомогою особливих акустичних приладів, які мають назву гідролокатори бокового огляду, вдається точніше і скоріше, чим за допомогою ехолота, обстежити рельєф морського дна та виявити навіть порівняно невеликі предмети на ньому, тобто скласти своєрідну фотографічну карту морського дна.

Акустичні хвилі служать для просвічування морського дна, а отже, для виявлення у його товщі корисних копалин. Чим нижча частота звуку, тим глибше він може пройти у морське дно, а якщо досліджувати розсіювання звуку у товщі води, можливо виявити так звані звукорозсіювачі - прошарки біологічного походження. При цьому можливо визначити розмір невеликих рибок та концентрацію їх скупчень, характерних для такого прошарку. Метод настільки чутливий, що дозволяє виявити присутність одної невеличкої риби довжиною у кілька сантиметрів в 100 м³ води.

Звук широко застосовується для керування автономними приладами, які працюють під водою і постачають інформацію про різні властивості океану.

В суцільних пружних середовищах, у тому числі і в морській воді, пружні та інерційні сили, зумовлені відповідно пружною взаємодією частинок середовища та інерцією їх маси. В таких середовищах з розподіленими параметрами можна збудити коливання стиску та розрідження, які розповсюджуються з означеною швидкістю. Процес послідовної передачі цих коливань від одної локальної частини середовища до іншої, називається акустичною або звуковою хвилею. Швидкість коливань частинок пружного середовища навколо положення їх рівноваги називається коливальною швидкістю, а швидкість передачі коливального стану в середовищі – швидкістю розповсюдження звуку.

В рідинах і газах, які характеризуються тільки об'ємною пружністю, можуть виникати і розповсюджуватися подовжні акустичні хвилі. В таких хвилях напрям коливань частинок середовища співпадає з напрямом розповсюдження хвилі. У твердих тілах, які мають зсувну пружність, крім подовжніх можуть збуджуватися поперечні, згинні, поверхневі акустичні хвилі.

Акустичні хвилі за частотним діапазоном поділяються на інфразвукові, звукові, ультразвукові та гіперзвукові. До інфразвукових відносяться коливання з частотами 16-20 Гц та нижче, до звукових – від 16-20 до 16-20 кГц. Коливання в діапазоні від 16-20 кГц до 10 мГц називаються ультразвуком, а коливання з частотами вище 10 мГц відносяться до гіперзвукових.

Типи акустичних хвиль: плоскі хвилі - хвильовий процес розповсюджується у будь-якому одному напрямку і характеристики хвилі залежать тільки від однієї координати x ; сферичні хвилі - називаються хвилі, потенціал швидкості яких є функцією двох незалежних змінних – відстані r від центру хвилі і часу t ; циліндричні хвилі - випадок, коли потенціал швидкості Φ залежить тільки від відстані r від вісі z та від часу t . Подібну ситуацію можливо уявити при випромінюванні хвиль циліндром з безкінечною віссю.

При аналізі рішень хвильового рівняння для найпростіших типів хвиль середовище вважалося однорідним, безкінечним і яке не поглинає енергії акустичних хвиль при їх розповсюдженні. В океані такі умови у чистому вигляді реалізуються рідко. Ступінь наближення до окремих з них залежить головним чином від співвідношення між довжиною хвилі коливальних, що випромінюються, та розмірами джерел акустичних хвиль, відстані від випромінювача до ділянки, на якій розглядається поле, глибини міста і заглиблення випромінювача і т. ін.

Крім того, слід мати на увазі, що виконуючи перехід до лінійних рівнянь акустики від нелінійних рівнянь гідродинаміки і рівняння стану, ми не приймали до уваги в них складові, які мали квадрати та добутки величин перших порядків (тиску, швидкості і стискування).

У Світовому океані швидкість звуку змінюється приблизно від 1450 до 1540 мс⁻¹ і може визначатись, або безпосереднім виміром, або за допомогою спеціальних (емпіричних) формул, які дають залежність швидкості звуку від температури (T °C), солоності (S ‰) та гідростатичного тиску (P кгсм⁻²).

Температура води найбільше впливає на величину швидкості звуку. При її зростанні зростає і швидкість звуку, але ця залежність не лінійна. Солоність менше впливає на швидкість звуку – при її зростанні на 1 ‰ швидкість звуку зростає приблизно на 1.2 мс⁻¹, також відбувається зростання швидкості звуку при зростанні глибини, і також не лінійно.

Оскільки у морі залежність швидкості звуку від горизонтальної координати виражена значно слабше, чим від вертикальної, тоді морське середовище у першому наближенні можливо вважати шарово – неоднорідним і розглядати як складене з набору плоских однорідних шарів води. Отримання точного розв'язання хвильового рівняння, яке описує розповсюдження звуку у шарово – неоднорідних середовищах для довільного виду $c(z)$, неможливе. Тому для вирішення задачі про розповсюдження звуку в океані широко застосовуються наближені методи, зокрема променева теорія.

Під звуковими променями будемо розуміти лінії, перпендикулярні до хвильових поверхонь (фронтів). Вплив розподілу $c(z)$ на зміну напрямку розповсюдження променя (рефракцію) описується у наближенні геометричної оптики законом Снеліуса. Рефракція є процес зміни напрямку розповсюдження акустичної хвилі при перетині меж шарів води з різними значеннями швидкості розповсюдження звуку.

Рефракція акустичного променя в шарувато-неоднорідному середовищі зі змінною швидкістю звуку підлягає закону, який установлює, що у середовищі, складеному з шарів з незмінними значеннями швидкості звуку, кути ковзання $\theta_1, \theta_2, \dots$ променів на межах шарів зі значеннями швидкості звуку $c_1, c_2, \dots$ у цих шарах підлягають таким співвідношенням для будь-якого променя $\cos \theta_1 / c_1 = \cos \theta_2 / c_2 = \cos \theta_3 / c_3 = \dots = \text{const.}$

Явище викривлення звукових променів у бік дна називається негативною рефракцією. Заштрихована область, в яку не проникають прямі промені (тобто промені які, не відбивались від поверхні чи дна) називається зоною тіні, а незаштрихована область поблизу джерела звуку – ближня освітлена зона. Промінь, який торкається поверхні та поділяє ці зони, називається граничним променем. Точки, які відповідають нульовому значенню кута ковзання для променя, що зазнає повного внутрішнього відбиття на поверхні або на будь - якому горизонті z , називаються точками завороту променя.

Розповсюдження звуку супроводжує ціла низка різних фізичних процесів, а саме: згасання (затухание, attenuation); відбиття (отражение, reflection); рефракція (преломление, refraction); поглинання (поглощение, absorption), розсіювання (рассеяние, scattering), сферичне розширення фронту хвилі (сферическое расширение, spherical extension).

Хвильове рівняння було отримано для ідеальної рідини. У дійсності морська і звичайна вода мають в'язкість і теплопровідність. У реальному морському середовищі завжди існують морські тварини, риби, продукти їх життєдіяльності, тверді частинки осадів, бульбашки повітря. А сама морська вода – дисоційований розчин, що складається з різних іонів. Крім того, температура, густина і солоність морської води фактично завжди флюктуують біля їх середніх значень, створюючи випадкові об'ємні неоднорідності. Такий стан і будова морської води призводять до згасання акустичних хвиль при їх розповсюдженні.

Згасання є процесом зменшення енергії звукової хвилі, яка розповсюджується у морській воді, за рахунок поглинання, сферичного розширення фронту хвилі та розсіювання частинками, що знаходяться у товщі води.

В'язкість і теплопровідність морської води призводять до незворотних теплових витрат енергії. Газові та інші компоненти окрім дисипації спричиняють розсіювання звукових хвиль: потік розсіяної акустичної енергії починає розповсюджуватися у різні боки і ослаблювати потік акустичного випромінювання у головному напрямку. Згасання енергії за рахунок поглинання відбувається через втрати енергії на процеси розпаду (дисоціації, dissociation) та сполучення (асоціації, association) молекул різних неорганічних сполук (солі) розчинених у воді.

Розсіювання. При відбитті звуку від нерівних поверхонь окрім дзеркально відбитих хвиль з'являються розсіяні хвилі, що розповсюджуються у всіх напрямках, у тому числі і у напрямку на джерело звуку. Розсіювання звуку на нерівностях хвильової поверхні, крижаного покриву і дна призводить до зменшення амплітуди дзеркально відбитої хвилі. Розсіювачі є і у товщі вод океану. Вони представлені як окремими дискретними розсіювачами, так і окремими горизонтально орієнтованими

біологічними скупченнями різної природи (залягають найчастіше на глибинах до 1000 м). Втрати енергії від розсіювання залежать від фактичної присутності частинок або тіл у товщі води, і тут головним джерелом розсіяних хвиль є так звані глибинні розсіюючі шари (ГРШ, deep scattering layer), які складається з планктону. Розсіювання від таких шарів має інші закономірності у зрівнянні з розсіюванням, зумовленим дискретними розсіювачами. Глибина розташування ГРШ, а отже і інтенсивність розсіяного звукового поля, зумовленого цими шарами, може змінюватися дуже значно протягом доби.

Дослідженнями виявлено, що розсіяне поле у водах океану формується лише тоді, коли акустичні характеристики розсіюючих об'єктів або їх частин суттєво відрізняються від акустичних властивостей води.

Розсіяне акустичне поле є інтегральним полем різних розсіювачів, тому дуже часто виявляється неможливим точно вказати конкретні причини розсіювання звуку і класифікувати розсіювачі за їх видами, ролі та особливостям. Очевидно також і те, що сумарне розсіяне звукове поле, яке спостерігається у точці його випромінювання, буде змінюватися у часі. Процес, який описує зміни у часі сумарного розсіяного звукового сигналу, називають **морською реверберацією** (нею також називають відзвук, який флюктує і поступово згасає у часі, і який спостерігається у точці прийому сигналів вже після закінчення дії джерела звуку).

Розсіювання звуку також зумовлює ряд нових фізичних ефектів: додаткове загасання звукових хвиль, «засвічування» рефракційних зон тіні і т. ін. На розповсюдження звуку суттєвий вплив чинить поверхня і дно океану. Поверхня океану практично весь час збурена, а підводний ґрунт має складний рельєф та неоднорідну структуру. Внаслідок розсіювання звуку на поверхні, що хвилюється і нерівному ґрунті виникають просторові і часові флюктуації сигналів, які розповсюджуються, змінюються їх спектральні та статистичні характеристики. Реверберація є однією з перешкод для роботи різноманітних гідроакустичних приладів. Якщо поверхня океану лише розсіює звук, то дно як розсіює, так і поглинає його, тобто частина звукової енергії, яка падає на дно, виходить з водного шару у ґрунт. Перетікання звукової енергії у ґрунт є головною причиною, яка лімітує подальше розповсюдження звуку низьких частот, для яких поглинання у морському середовищі дуже мале.

Звернути увагу на такі питання:

1. Використання акустичних методів в океанології.
2. Проблеми застосування гідроакустичних приладів в умовах океану.
3. Акустичні хвилі та їх параметри.

4. Залежність швидкості звуку від гідрофізичних параметрів та структура емпіричних формул розрахунку $c(z)$.

5. Зв'язок акустичних параметрів з характеристиками пружних середовищ.

6. Типи акустичних хвиль.

7. Хвильове рівняння.

8. Відбиття та переломлення акустичних хвиль.

9. Поглинання акустичних хвиль в морі..

10. Променева теорія розповсюдження звуку.

11. Розсіювання акустичних хвиль в морському середовищі.

12. Умови розповсюдження звуку біля поверхні океану?

13. Умови розповсюдження звуку біля дна океану.

14. Вплив неоднорідності товщі океану на розповсюдження звуку.

15. Вплив неоднорідності товщі океану на розповсюдження звуку.

16. Поняття звукорозсіюючого шару та його характеристики.

Перелік питань для самоконтролю:

1. Вкажіть частотний діапазон звукових хвиль.

2. В якому діапазоні змінюється швидкість звуку в морській воді?

3. Швидкість звуку на великих глибинах найбільш залежить від:

а) солоності; б) температури; в) тиску?

4. Які акустичні хвилі згасають повільніше в океані: а) довгі; б) короткі; в) ультракороткі?

5. Акустичні хвилі в морській воді за своїм характером є: а) подовжні; б) поперечні; в) згинні?

6. Швидкість звуку у поверхневому шарі океану найбільше залежить: а) від солоності; б) від температури; в) від тиску?

7. Максимальний градієнт швидкості звуку спостерігається: а) біля поверхні; б) біля дна; в) у термокліні?

8. Чим відрізняється розповсюдження звуку біля дна від поверхні?

9. Для дослідження ґрунту дна використовується звук: а) низьких частот; б) високих частот; в) ультразвук?

10. Для розсіювання звукових хвиль біля дна найбільше значення мають нерівності: а) макрорельєфу; б) мікро і мезорельєфу; в) піщані хвилі?

11. Які океанологічні характеристики грають головну роль у розсіюванні звуку: а) флуктуації солоності; б) флуктуації течій; в) флуктуації температури?

12. Бульбашки газів у морській воді викликають: а) фокусування звуку; б) розсіювання та поглинання; в) ніяк не впливають?

13. Звукорозсіюючий шар – це скопичення: а) біологічних об'єктів; б) зважених мінеральних часток; в) бульбашок газів?

14. Звукорозсіюючий шар в океанах : а) займає стаціонарне положення; б) має тільки сезонні вертикальні міграції; в) має добові вертикальні міграції?

15. Рефракція звуку - це викривлення променя: а) у бік збільшення швидкості звуку; б) у бік зменшення швидкості звуку; в) у бік горизонту випромінювання?

2.2.2 Повчання по вивченню теми 2: «Хвильове розповсюдження звуку в океані та його теорія»

ЛІТЕРАТУРА [1: С. 804-811, 2: С 278-287, 4]

Для розповсюдження звуку в океані найбільш важливе значення має не абсолютна величина швидкості звуку, а форма (профіль) кривої вертикального розподілу $c(z)$, тобто положення екстремумів, співвідношення між значеннями швидкості звуку біля дна, на поверхні і в екстремальних точках. Профіль $c(z)$, по суті, визначає умови розповсюдження звуку в океані. При одному типі $c(z)$ дальність розповсюдження звуку може досягати тисяч кілометрів, а при іншому - звук тієї ж частоти можливо виявити на відстані тільки кількох кілометрів.

Вертикальний розподіл швидкості звуку (ВРШЗ) різний у різних районах Світового океану і змінюється у часі. Зміни профілю $c(z)$ у верхніх шарах зумовлені загалом змінами температури і солоності. На великих глибинах температура та солоність змінюються дуже мало, і зростання швидкості звуку при зростанні глибини зумовлено практично зростанням гідростатичного тиску.

Загальні уявлення про типовий профіль швидкості звуку. У типовий профіль вертикального розподілу швидкості звуку (ВРШЗ), як правило, включають наступні ділянки, що мають різні характеристики та простір за глибиною.

Безпосередньо біля поверхні розташований шар води, у якому швидкість звуку зазнає добових та локальних впливів тепла, холоду та вітру. Біля поверхні моря може також розташовуватись перемішаний шар води з постійною температурою, який утворюється внаслідок перемішування води вітром над поверхнею моря. У перемішаному шарі створюються умови для "захоплювання", або іншими словами, концентрації енергії звукових хвиль, що спричиняє формування звукового каналу. При умовах достатньо довгої відсутності вітру та сонячної погоди цей шар зникає і поверхнева водна маса стає стратифікованою за температурою, тобто температура води і швидкість звуку зменшуються з глибиною. Під поверхневим шаром розташовується сезонний термоклін. Він характеризується негативним градієнтом температури та швидкості

звуку. Літом і восени, коли поверхневий шар води у морі нагрітий, сезонний термоклін стійкий і має чіткі межі (у середніх та високих широтах). Зимою та ранньою весною, а також в Арктиці, термоклін розмивається за рахунок інтенсивних конвекційних процесів (різної природи) і зливається з поверхневим шаром. Під сезонним термокліном знаходиться головний термоклін (в глибокому океані), в якому сезонні коливання гідрофізичних характеристик практично відсутні. У головному термокліні відбувається найбільш значна зміна температури з глибиною (але градієнти температури води значно менші, ніж у сезонному термокліні). Це не стосується низьких широт, де сезонні коливання невеликі за амплітудою і градієнти температури у головному термокліні більші, ніж у сезонному.

Нижче головного термокліну розташовується глибинний квазіізотермічний шар, який має майже постійну температуру. У цьому шарі швидкість звуку зростає з глибиною під дією гідростатичного тиску. Між зонами негативного градієнта швидкості звуку в головному термокліні та позитивного градієнта на великих глибинах існує шар води з мінімальним значенням швидкості звуку. Через рефракцію звук, що розповсюджується на великих глибинах, відхиляється в напрямку цього шару і фокусується у ньому. У низьких широтах мінімум швидкості звуку спостерігається на глибині приблизно 1200 м. У високих широтах цей мінімум зміщується ближче до поверхні, глибоководний ізотермічний шар розповсюджується у бік малих глибин майже до поверхні моря, а головний та сезонний термокліни поступово зникають.

Підводний звуковий канал в океані. Для глибоких районів океану типовим є профіль $c(z)$, у якому мінімум швидкості звуку знаходиться на деякій глибині z_m . При відході від горизонту z_m уверх швидкість звуку зростає, головним чином, завдяки зростанню температури. При відході від горизонту z_m униз, швидкість звуку зростає за рахунок зростання гідростатичного тиску. Якщо розмістити джерело звуку на рівні z_m або поблизу, тоді частина звукової енергії буде розповсюджуватися в шарі води від поверхні до горизонту z_k , на якому швидкість звуку має таке ж значення, що і на поверхні. Цей шар називають підводним звуковим каналом (ПЗК), а горизонт з мінімумом швидкості звуку - віссю ПЗК. Такий розподіл швидкості звуку з глибиною є характерним для глибоких районів океану з нормальною термохалінною стратифікацією.

Існування в океані ПЗК створює найбільш сприятливі умови для розповсюдження звуку, оскільки при цьому звукові хвилі не розсіюються на поверхні океану і не поглинаються у підводному ґрунті. Максимальна дальність розповсюдження звуку у каналі лімітується головним чином поглинанням звуку морською водою. Звук достатньо низьких частот, для якого поглинання у воді дуже мале, може розповсюджуватися на великі відстані. Так, наприклад, звук, створений вибухом заряду вагою 22,5 кг

біля берегів Австралії, був зареєстрований біля Бермудських островів на відстані 19 тис. км. Здатність звуку розповсюджуватися у ПЗК на великі відстані може мати численні практичні застосування.

Характеристики ПЗК та його типи Головними характеристиками ПЗК є глибина осі каналу z_m , ширина звукового каналу z_k , величина перепаду швидкості звуку на поверхні і на осі каналу, а також співвідношення швидкості звуку біля дна і на поверхні.

Глибина осі ПЗК в океані звичайно складає 1000-1200 м і більше. В тропічних зонах вона спостерігається навіть на глибині 2000 м, в помірних широтах вісь каналу підіймається до глибини 200-500 м. В ще більш високих широтах вона підходить до поверхні.

Існують два різновиди ПЗК, які відповідають двом різним співвідношенням між значеннями швидкості звуку на поверхні - c_0 та біля дна - c_H . Випадок, коли співвідношення $c_0 / c_H < 1$ - відповідає 1 типу; в менш глибоководних районах може зустрітися зворотне співвідношення, тобто $c_0 / c_H > 1$ - це 2-й тип.

Ефект звукового каналу тим більший, чим ближче до осі каналу розташовано джерело звуку.

На основі променевої теорії можливо виконати приблизний розрахунок інтенсивності акустичного поля в середовищі. Для цього спочатку будуються траєкторії звукових променів з джерела звуку під різними кутами випромінювання. Потім на різних відстанях від джерела визначається кількість променів, що приходять у точку спостереження, обчислюється інтенсивність звуку, який розповсюджується на кожному промені, та виконується її підсумування. При розрахунках інтенсивності часто користуються **фактором фокусування**, під яким розуміють відношення сили звуку, що створюється джерелом на відстані R у неоднорідному середовищі, до сили звуку того ж джерела в однорідному середовищі. Фактор фокусування використовується при аналізі умов розповсюдження звуку як складової для оцінки величини аномалії розповсюдження. Але фактор фокусування та інтенсивність звуку прямують до нескінченності поблизу точок завороту променів (згідно формальних аналітичних виразів для цих величин), і що не спостерігається в природних умовах. Це свідчить про те, що променева теорія неприйнятна поблизу геометричних точок, де фактор фокусування стає нескінченним. Такі геометричні місця точок називаються **каустиками**. Ними є обвідні сім'ї променів.

Енергія акустичного поля складається з кінетичної енергії частинок, що коливаються, та потенційної енергії пружної деформації. Кількість звукової енергії, що переноситься у одиницю часу через одиничну площину, перпендикулярну напрямку розповсюдження хвилі, тобто густина потоку акустичної енергії, називається інтенсивністю або силою звуку. Діапазон мінливості інтенсивності звукових хвиль дуже широкий і

складає декілька порядків. Так, відношення інтенсивності на порозі болювого відчуття до інтенсивності на межі чутливості людського вуха становить близько 10^{14} .

Одним з важливих параметрів морського середовища є власні шуми океану. Значення їх характеристик (статистичні, енергетичні, спектральні) особливо важливі при вирішенні задач, пов'язаних із знаходженням та виявленням сигналів на фоні перешкод, при передачі інформації по підводному каналу зв'язку і таке інше.

Підводні шуми в океані несуть у собі великий обсяг інформації про стан поверхні океану, атмосфери над ним, тектонічні процеси у товщі дна океану, про життя у океанському середовищі. Так як акустичні хвилі в океані розповсюджуються на великі відстані, то шум у точці спостереження є результатом накладення полів багатьох окремих незалежних джерел. Аналіз наявних даних про шуми океану показує прямий зв'язок різних характеристик шумів з гідрометеорологічними умовами і процесами, що відбуваються у товщі океану та у суміжних з ним середовищах. Причём якщо характеристики шумів у високочастотному діапазоні визначаються процесами, що відбуваються у зоні радіусом кілька кілометрів, то низькочастотна частина спектра дозволяє взнавати про процеси які відбуваються на значних відстанях від приймальної системи.

Звернути увагу на такі питання:

1. Підводний звуковий канал.
2. Характеристики ПЗК та його типи.
3. Характерні види вертикального розподілу швидкості звуку в океані.
4. Оцінка інтенсивності акустичного поля в океані у межах променевої теорії.
5. Енергетичні характеристики акустичних хвиль.
6. Вплив релаксаційних процесів на енергетику акустичних хвиль.
7. Шуми океану та їх вплив на акустичне поле.

Перелік питань для самоконтролю:

1. Зона акустичної тіні – це область куди не проникають: а) прямі промені; б) промені відбиті від поверхні чи дна; в) ніякі промені?
2. Зона тіні не виникає ніколи: а) при лінійному зменшенні швидкості звуку з глибиною; б) при лінійному зростанні швидкості звуку з глибиною; в) при розподілі з мінімумом швидкості на проміжних глибинах?
3. Ефект звукового каналу максимальний коли: а) джерело звуку знаходиться на дні; б) джерело звуку знаходиться на границі каналу; в) джерело звуку знаходиться на осі каналу?

4. Підводний звуковий канал - це шар води, де спостерігається: а) максимум швидкості звуку; б) мінімум швидкості звуку; в) середня швидкість у шарі води?
5. Для розповсюдження звуку найбільш важливе значення має: а) абсолютна величина швидкості звуку; б) глибина океану; в) форма кривої вертикального розподілу швидкості звуку?
6. Вісь звукового каналу у тропічній зоні океану знаходиться: а) біля поверхні; б) біля дна; в) на глибинах більше 1500 м?
7. В арктичних районах океану максимум швидкості звуку знаходиться: а) на поверхні; б) біля дна; в) відсутній?
8. Бульбашки газів у морській воді викликають: а) фокусування звуку; б) розсіювання та поглинання; в) ніяк не впливають?
9. Власний шум океану:
10. а) незначний, не створює перешкод при ідентифікації сигналів; б) має визначений спектр; в) має мінливий спектр за компонентами?

2.2.3 Повчання по вивченню теми 3: «Основні характеристики оптичних властивостей морської води»

ЛІТЕРАТУРА [1: С. 679-757, 2: С. 216-248, 3]

Дослідження з оптики океану виконуються за широким колом питань. Вони включають як традиційні проблеми, так і нові задачі. До традиційних проблем відносяться аналіз оптичних властивостей океанських вод, світлових полів в океані від природних джерел випромінювання, процесів трансформації світла на поверхні, до нових задач – розробка оптичних методів зондування океану, у тому числі супутникових, вивчення радіаційної взаємодії океану і атмосфери.

У центрі всіх цих задач знаходиться дослідження оптичних властивостей океанських вод у зв'язку з факторами, що їх формують – завислими та розчиненими речовинами. Це головна проблема оптики океану.

Велике різноманіття питань – від тонких проблем фізичної оптики до різних загальних задач вивчення природи океану – робить оптику складним розділом фізичної океанології. Оптичні характеристики морської води значною мірою визначаються властивостями власне самої води, але значно більший вплив на розповсюдження світла в морі чинять оптично активні речовини, розчинені та завислі в ній.

Вимірювання оптичних властивостей морської води є важким завданням. Морська вода – це складна фізико – хіміко - біологічна система. Вона містить у собі розчинені речовини, завислі частинки, велику кількість

мікроскопічних організмів. Через ці всі оптичні неоднорідності морська вода сильно розсіює світло. З точки зору фізичної оптики вона є каламутним середовищем.

Оптичні виміри є ефективним засобом вивчення таких проблем океанології, як дифузія, перемішування та виділення водних мас. Вивчення оптичних властивостей води важливе також для вирішення задач морської біології, особливо при дослідженні продуктивності, а також для підводної фотографії та підводного телебачення.

Оптичні явища, які спостерігаються в океанах і морях, визначаються двома групами оптичних характеристик. Першу групу складають характеристики, які залежать тільки від фізичних властивостей води і називаються первинними, а другу групу – характеристики, які залежать також від геометричної структури світлового поля, називають вторинними.

До первинних характеристик відносяться показники поглинання, розсіювання та ослаблення світла, а також індикатриса розсіювання.

Вторинними характеристиками є показники яскравості та опроміненості.

Поглинання світла морською водою. Мінливість оптичних властивостей морської води майже повністю визначається змінами її складу – вмістом розчинених речовин та мулу.

Склад морської води. У морській воді розчинені неорганічні солі, гази та органічні сполуки. Розчинені гази присутні у воді у малих кількостях і практично не виявляють себе в оптиці морської води. Деяке значення мають тільки розчинений кисень та непряме - азот. Головне значення для оптики океанської води мають неорганічні солі та органічні сполуки. Розчинені речовини впливають як на поглинальні, так і на розсіюючі властивості морської води. В основному їх вплив відчувається в поглинанні в видимій, фіолетовій та ультрафіолетовій частині спектра, там, де чиста вода сама по собі поглинає мало. На червоній ділянці видимого спектра та в інфрачервоній вплив розчинених речовин на поглинання незначний – він просто непомітний на фоні сильного поглинання самої води.

Органічні сполуки. Органічні речовини, які знаходяться у морській воді, приблизно наполовину складаються з органічного вуглецю. Для оптики океану важливо, що більшість розчинених органічних речовин не мають смуг поглинання у видимій частині спектра. З оптичної точки зору особливий інтерес викликає та частина розчиненої органіки, яка носить назву жовта речовина. Поглинання жовтою речовиною різко зростає у бік коротких хвиль, що і зумовлює її жовтувате забарвлення.

Мул. Дуже різноманітний – це і теригенні частинки (річки, вітер), і клітини фітопланктону, і бактерії, і частинки вулканічного або космічного походження, і детрит – залишки розкладених клітин фітопланктону та

скелетів зоопланктону. Вплив на поглинання двоякий: 1) частинки мулу самі трохи поглинають світло; 2) за рахунок розсіювання вони збільшують пробіг квантів світла, що приводить до додаткового поглинання, як у багатоходовій кюветі. З оптичної точки зору, головний інтерес викликає мул за розмірами від сотих часток мікрону до десятків мікрон. Більш тонкі частинки дуже малі, а вплив дуже великих частинок незначний (їх дуже мало в мулі).

Розсіювання світла. Причиною розсіювання світла є оптична неоднорідність тіла. У морській воді розсіювання світла буває 2 типів – молекулярне та завислими частинками.

Молекулярне розсіювання відбувається через флуктуації густини, орієнтації анізотропних молекул води та концентрації розчинених речовин. Оскільки всі ці три фактори не впливають один на одного, то повне молекулярне розсіювання є їх сумою. Молекулярне розсіювання без великої помилки можливо вважати однаковим для усіх океанських вод і індикатриса розсіювання за виглядом близька до Релеївської.

Розсіювання завислими частинками. Частинки мають складну неправильну форму. Розміри їх звичайно порівнянні або більші за λ . Точної теорії розсіювання світла на таких частинках не існує, тому при теоретичному аналізі цієї проблеми користуються моделлю еквівалентних сфер. У цій моделі частинки вважаються однорідними сферами, які розсіюють світло так же, як реальний гідрозоль.

Показник ослаблення ϵ - коефіцієнт ослаблення нескінченно тонкого шару води, на який падає пучок світла у нормальному напрямку, віднесений до товщини цього шару. Показник ослаблення є сумою показників поглинання та розсіювання. Як відомо, морська вода містить три оптично активних компонента: чисту воду, розчинені речовини (неорганічні та органічні) і завислі частинки (мінеральні і органічні). Вплив цих компонент на оптичні характеристики морської води неоднаковий, він змінюється у залежності від концентрації відповідного компонента і різний для різних довжин хвиль.

Освітленість поверхні океану. Світлове випромінювання являє собою потік електромагнітних коливань з широким діапазоном довжин хвиль: від радіохвиль до "жорстких гама-хвиль". Для океану найбільше практичне значення має видима частина спектра, яка дає головний енергетичний внесок. Головним чином, це видимі та інфрачервоні промені у діапазоні довжин хвиль $\lambda = 10^{-7} \div 10^{-4}$ м. Частина цих променів, з довжинами від $4.0 \cdot 10^{-7}$ до $7.6 \cdot 10^{-4}$ метрів, являє собою світлові хвилі, які бачить око людини.

Променеві потоки, що проникають крізь поверхню океану, безпосередньо нагрівають воду, тим самим постачають енергію цілій низці океанічних процесів. Крім впливу на температуру води, світлова частина сонячної радіації проявляється в освітленості глибин, кольорі води, а

також бере участь у біологічних та біохімічних процесах, найважливішим з яких є фотосинтез.

Видима частина спектра радіації, яка надходить на поверхню океану та створює освітленість, складається з сонячних променів, що пройшли крізь атмосферу (пряма радіація), і деякої частини променів, що розсіюються атмосферою у всіх напрямках, у тому числі і на поверхню океану (розсіяна радіація).

Співвідношення енергії цих двох світлових потоків, що падають на горизонтальну площину, залежить від висоти Сонця, чим вище воно над горизонтом, тим більша частина прямої радіації. Освітленість поверхні моря у звичайних умовах залежить також від хмарності. Високі та тонкі хмари відкидають униз багато розсіяного світла, завдяки чому освітленість поверхні моря при середніх висотах Сонця може бути навіть більшою, чим при безхмарному небі. Природно, що густі, з великим вмістом води хмари різко зменшують освітленість.

Відбиття світла від поверхні моря. Випромінювання, яке падає на поверхню моря, відбивається та заломлюється морською поверхнею. Для променів, які падають на поверхню нормально ($i = 0$), коефіцієнт відбиття від води r дуже малий ($\sim 2\%$). При зростанні кута падіння i він помалу зростає (при $i = 60^\circ$, $r = 5.9\%$). Швидке зростання r відбувається у дотичному напрямку, тобто в області великих i . При $i = 90^\circ$, відбиття буде повним ($r = 100\%$).

Частка потоку радіації, що падає, і відбивається від поверхні моря, називається альбедо поверхні моря A_r , а частка радіації, що увійшла в море, називається коефіцієнтом пропускання поверхні моря T . Очевидно, що $A_r + T = 1$. Повне альбедо моря $A = A_r + A_d$ (A_d – частина альбедо, зумовлена пучком, розсіяним товщею моря).

Проходження світла крізь поверхню. Світловий пучок, який зайшов у воду, стискається, при цьому лінійний кут стискання дорівнює коефіцієнту заломлення n , і тому тілесний кут буде дорівнювати n^2 . Відповідно, яскравість світлового пучка у воді буде в n^2 разів більше, оскільки та ж енергія буде розповсюджуватися в більш вузькому пучку.

Підводна опроміненість. Випромінювання, що зайшло під поверхню моря, ослаблюється через поглинання (ІЧ та червона частини спектра) та розсіювання. Із зростанням глибини спектр опромінення звужується, а максимум у спектрі в чистих океанських водах зміщується в область 450 - 460 нм. Н. Єрлов запропонував оптичну класифікацію поверхневих вод океану за пропусканням 1 м води (при високому положенні Сонця). Узагальнення даних вимірів дозволило йому виділити три головних типи вод - I, II і III, до яких потім було додано два проміжних – I A і I B. Для прибережних вод також були виділені характерні типи – 1, 3, 5, 7, 9.

На глибинах, що перевищують 100 м, практично залишається синій колір. Сонячна енергія, що проникає у море, поглинається та використовується рослинами. В спектральному діапазоні від 350 до 700 нм вона носить назву фотосинтетичної активної радіації (ФАР). Дослідження ФАР на різних глибинах дуже цікавить біологів, оскільки у процесі фотосинтезу створюється вся первинна біологічна продукція.

Яскравість світлового поля у морі залежить від таких факторів:

- 1) умов освітленості моря;
- 2) проходження світла крізь хвильову поверхню моря;
- 3) розповсюдження світла у морському середовищі.

Перший фактор визначається, головним чином, тим, чи закрите Сонце хмарами і яка його висота. Другий – заломленням променів, що падають на хвильову поверхню. Третій – багаторазовим розсіюванням та вибірконим поглинанням світла.

Структура світлового поля при зануренні у море постійно трансформується, головним чином – яскравість, яка залежить від глибини і напрямку (θ, φ) (θ і φ – вертикальний і азимутальний кути). Спостереження показують, що за особливостями будови функції яскравості можливо виділити 3 зони: 1) підповерхневу; 2) проміжну; 3) зону глибинного режиму.

Перша розташована приблизно на глибинах, менших за z_0 (глибина видимості білого диска). Третя – на глибинах, більших за $4 z_0$. Друга – посередині між 1 та 3.

Виділені зони характеризуються такими особливостями:

- у підповерхневій зоні спостерігаються великі флуктуації яскравості (та опроміненості). Вертикальний показник ослаблення тут залежить від кута падіння випромінення. Спектр широкий – від ближнього ультрафіолетового до оранжево-червоного світла;
- у проміжній зоні флуктуації світлового поля загасають (хоча і відстежуються в океанських водах до глибин 100 – 110 м). Поляризація світла тут залежить як від явищ на поверхні, так і від розсіюючих властивостей середовища. Спектральний діапазон випромінення постійно звужується;
- у третій зоні флуктуацій яскравості нема, самі зміни яскравості та опроміненості пов'язані тільки зі зміною освітленості поверхні. Кутовий розподіл яскравості та поляризація світла залежать тільки від первинних характеристик середовища, а не від умов освітленості. Спектр характеризується синьо-зеленою ділянкою

Колір морської води та колір моря Звісно, що колір різних морів неоднаковий. Фіолетово-синій колір відкритих районів океану помітно різниться, наприклад, від кольору вод Балтійського, Червоного або Білого морів. Це наштовхнуло на ідею використовувати колір морської води у якості океанологічної характеристики.

Визначають колір моря за спеціальною шкалою кольоровості Фореля-Уля, запропонованої наприкінці XIX сторіччя. Вона являє собою набір пробірок з рідиною різного кольору (від темно-синього до коричневого), які порівнюються з кольором білого диска на глибині його зникнення. Колір моря при цьому позначається за номером відповідної пробірки шкали. Колір моря, тобто забарвлення його поверхні, залежить від різних зовнішніх умов: від кута зору, під яким спостерігач дивиться на морську поверхню, від кольору неба, наявності хмар, від стану поверхні моря, від розмірів та форми вітрових хвиль. Помічено, що при виникненні хвиль море починає швидко синіти, а при щільних хмарах колір моря здається більш темним.

Розрізняють колір морської води та колір моря. Колір морської води зумовлюється сукупною дією поглинання та розсіювання світла у воді і не залежить від зовнішніх чинників. Основну роль при цьому відіграє дифузний (розсіяний) потік світлової енергії, який іде з глибини моря. Потік світла, спричинений молекулярним розсіюванням, створює синій колір. Пов'язано це з тим, що коефіцієнт молекулярного розсіювання (на відміну від поглинання) для променів синьо-фіолетової області спектра у три рази більший, ніж для променів червоно-жовтої області спектра. Індивідуальні особливості кольору води кожного моря, так само як і величина його прозорості, залежать в основному від процесу розсіювання світла різними включеннями, тобто від кількості та розмірів завислих частинок органічного і неорганічного походження та від вмісту у воді розчинених газів.

Загальною закономірністю для всіх океанів і морів є деяке зменшення прозорості при наближенні до берегів. Колір води при цьому також змінюється, вода зеленіє, а інколи набуває жовтуватих і навіть коричнюватих відтінків. Пояснюється це тим, що прибережні води опріснюються стоком річок, води яких збагачені різними завислими частинками. До того ж прибережні мілководдя стають каламутними під час штормів.

Свічення та цвітіння морської води. Свічення моря - це збільшення яскравості морської поверхні, зумовлене світлом, що випромінюється морськими організмами. Розрізняють три типи свічення: розлите, іскрове та свічення великих організмів. Перший тип спричинюється бактеріями. Це суцільне рівномірне свічення поверхні моря. Іскрове (точкове) свічення спричиняється планктоном. Світяться також великі за розмірами організми: риби, великі медузи та ін.

Організми, які світяться, мешкають по всій товщі вод від поверхні до дна. Деякі з них світяться за допомогою маслянистих крапельок, які знаходяться всередині клітини (ночесвітки), в інших спеціальні залози виділяють речовину, що світиться (медузи, рачки), треті мають особливий орган, що світиться (риби, головоногі молюски).

Свічення моря становить практичний інтерес для різних галузей діяльності людини. Так, воно може сигналізувати рибалкам про наявність косяків риби і в той же час відлякувати її, демаскуючи рибальські сіті, може служити попередженням для мореплавців про підводні небезпеки і таким чином запобігти зіткненню із суднами і плаваючими предметами.

Цвітіння моря - це незвичайна зміна забарвлення його поверхні, зумовлена біологічними причинами. Таке явище спостерігається внаслідок бурхливого розвитку планктонних рослинних або тваринних організмів, скупчення яких забарвлює поверхню води в певний колір. Так, ночесвітка, котра світиться вночі, вдень забарвлює море в рожеві, буро-червоні, а інколи жовті чи зелені тони. При масовому розвитку діатомових водоростей поблизу тихоокеанських берегів Північної Америки море набуває кольору крові. Синьо-зелені водорості забарвлюють морську воду в зелений колір. У тропіках їх скупчення поширюються на десятки і навіть сотні кілометрів. Вода при цьому має запах хлору, а вітрове хвилювання заспокоюється. Зелене забарвлення води синьо-зеленими водоростями влітку часто спостерігається в Азовському і Балтійському морях.

Звернути увагу на такі питання:

1. Основні оптичні характеристики морської води.
2. Поглинання світла у чистій воді.
3. Розсіювання світла в чистій воді.
4. Фізичний склад морської води.
5. Поглинання світла морською водою.
6. Розсіювання світла морською водою.
7. Ослаблення світла морською водою.
8. Прозорість морської води.
9. Колір морської води та колір моря.
10. Свічення та цвітіння морської води.
11. Спектр випромінювання океану та його залежність від показників поглинання і розсіювання.
12. Підводна опроміненість.
13. Яскравість світлового поля у морі та її зональний розподіл.
14. Особливості зон за яскравістю світлового поля.
15. Освітленість поверхні океану.
16. Кутове та спектральне розподілення.
17. Відбиття та заломлення світла.
18. Вплив поверхневих хвиль.

Перелік питань для самоконтролю:

1. На розповсюдження світла в морській воді найбільший вплив чинить: а) температура та солоність; б) сама вода; в) оптичні компоненти?
2. Яке фізичне явище в значній мірі відрізняє розповсюдження світла в океані від атмосфери: а) відбиття світла; б) заломлення світла; в) поглинання світла?
3. Половина загального потоку променевої енергії Сонця втрачається у верхньому шарі води товщиною: а) 1 мм; б) 0.5 м; в) 5 м?
4. Ділянка видимої частини спектру по довжині хвиль становить: а) 8.0 – 300 нм; б) 380 – 770 нм; в) 800 – 1800 нм?
5. Найбільш сприймається оком людини ділянка спектру, яка відповідає: а) жовто-зеленому кольору; б) фіолетовому кольору; в) червоному кольору?
6. Первинні оптичні характеристики – це характеристики, які залежать від: а) освітленості; б) фізичних властивостей води; в) стану атмосфери над морем?
7. Вторинні оптичні характеристики – це характеристики, які залежать від: а) фізичних властивостей води; б) від стану поверхні моря; в) від геометричної структури світлового поля?
8. Прозорість морської води визначається: а) температурою води; б) солоністю води; в) концентрацією та розмірами завислих часток?
9. Прозорість морської води при хвилюванні : а) зменшується; б) зростає; в) не змінюється?
10. Колір води у Світовому океані: а) має регіональні особливості; б) однаковий; в) залежить від зовнішніх факторів.
11. Колір моря зумовлюється: а) зовнішніми умовами; б) температурою та солоністю; в) завислими частками у воді?
12. Свічення моря зумовлюється: а) гідродинамічними факторами; б) атмосферними процесами; в) морськими організмами?
13. На глибинах, що перевищують 100 м з усього спектру світла зостається: а) жовтий колір; б) зелений колір; в) синій колір?
2. Яскравість світлового поля у морі та її зональний розподіл.
14. Глибини розташування зон, виділених за особливостями функції яскравості.
15. За наявності високих тонких хмар освітленість поверхні моря: а) зростає; б) зменшується; в) не змінюється?
16. Альbedo поверхні моря визначається головним чином : а) станом поверхні моря; б) висотою Сонця; в) кольором моря?
17. Половина загального потоку променевої енергії Сонця втрачається у верхньому шарі води товщиною: а) 1 мм; б) 0.5 м; в) 5 м?

2.3 Повчання по виконанню практичної частини курсу

Наведені нижче практичні роботи повинні бути виконані студентами під час аудиторних занять.

Оцінювання результатів виконання практичної роботи проводиться за такими критеріями:

Практична робота (у % від кількості балів, виділених на неї, із заокругленням до цілого числа):

0%	завдання не виконано;
1-59%	завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру;
60-73%	завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або у методиці;
74-89%	завдання виконано повністю і вчасно, проте окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення);
90-100%	Завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

Максимальна кількість балів, яку може одержати студент при виконанні програми практичних занять становить 40 балів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барк Л.С., Гансон П.П., Мейстер Н.А. Таблицы скорости звука в морской воде. – М., изд.АН СССР, 1961.
2. Океанографические таблицы – Л., Гидрометеиздат., 1975
3. Таблицы для расчета скорости звука в морской воде. – Упр.гидрограф.службы ВМФ, 1965
4. Физика океана. Под ред.Ю.П. Доронина. – Л., Гидрометеиздат., 1978
5. Завилович И.М. Номограммы для определения некоторых характеристик волноводного распространения звука в океане. – Тр. ЛГМИ, Вып.41, 1970
6. Збірник методичних вказівок з дисципліни «Фізична океанологія». Одеса, ОГМІ, 1998 р., 72 с.

ЗАВДАННЯ №1 РОЗРАХУНОК ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗВУКУ

Мета роботи:

1. Ознайомитись з методами розрахунку швидкості звуку в океані за різними формулами.
2. Провести порівняльний аналіз цих формул, та визначити їх недоліки

Вихідні дані:

У якості вихідних даних використовувати дані станційних спостережень у різних районах Світового океану, що надані у методичних вказівках [6].

Пояснення

Розрахунок швидкості розповсюдження звука в морі може провадитись як по відомій в гідродинаміки теоретичній формулі так і по різноманітних емпіричних формулах.

Теоретична формула має вид:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho K_T}} = \frac{1}{\sqrt{\rho K_S}} \quad (1.1)$$

де c - швидкість поширення звука у воді

ρ - середня густина води;

K_T - коефіцієнт ізотермічної стискальності;

K_S - коефіцієнт ізохалинної стискальності, - відношення питомих теплоємностей, $\gamma = c_p / c_v$.

У зв'язку з тим, що залежність стискальності і густини води від температури, солоності і гідростатичного тиску не може бути виражена аналітично, коефіцієнти ізотермічної і ізохалинної стискальності обчислюються недостатньо точно. Внаслідок цього для обчислення швидкості поширення звука у воді в даний час часто використовують емпіричні формули. З них останнім часом найбільше поширені дві формули: Дель-Гроссо і Вільсона. У залежності від необхідної точності для обчислення швидкості звуку у воді можна використовувати або одну, або іншу формулу. Формула Дель-Гроссо, менше точна, але більш проста, має вид:

$$C = 1449,6 + 4,618T - 0,0023T^2 + 0,00023T^3 + (S-35) - 0,011(S-35)^2 + 2,7 \cdot 10^{-8}(S-35)T^4 - 2 \cdot 10^{-7}(S-35)^4(1 + 0,577T - 0,0072T^2) \text{ м/с} \quad (1.2)$$

Більш складна і громоздка формула Вільсона приваблює більшою точністю. Помилка розрахунку по ній у залежності від температури, солоності і гідростатичного тиску не перевищує 0.22 м/с. Вона має вид:

$$c = 1449,14 + \Delta c_T + \Delta c_s + \Delta c_p + \Delta c_{s,T,p}$$

У таблиці 1.41 Океанографічних таблиць [2] наведені значення, що відповідають першим трьом членам у формулі Вільсона. Поправка швидкості звука на глибину була отримана А.С.Полосініним [1] і наведена в табл. 1.1. Останньою поправкою, що враховує у формулі Вільсона сильний вплив гідростатичного тиску, температури і солоності, є $\Delta c_{s,T,p}$. При її обчисленні можна використовувати табличні дані, наведені для поправки $\Delta c_{s,T,p}$ у таблицях [3] і Океанографічних таблицях [2] (табл. 1.42а, стор.180-181), останніми - якщо швидкість звука обчислюється з точністю до першого знака після коми. Таким чином, при розрахунку швидкості звука як за формулою Дель-Гроссо, так і за формулою Вільсона варто використовувати відповідні таблиці, замінивши в них лише табличні поправки на глибину на ті значення цієї поправки, що наведені в табл. 1.1.

Порядок виконання роботи

Всі обчислення ведуться за схемою, наведеною в табл. 1.2.

1. У графах 4-6 записуються результати обчислень горизонтальної швидкості звука на різноманітних глибинах по формулі Дель-Гроссо: значення c_{TS} по таблицях [2], а поправки Δc_z по табл. 1.1 цих практичних робіт.

Остаточне значення горизонтальної швидкості поширення звука c_{zTS} на даному горизонті (граф 6) знаходиться простим підсумовуванням значень, записаних у графах 4 і 5.

2. Графи 7-11 враховуються при обчисленні горизонтальної швидкості звука по формулі Вільсона.

Спочатку по температурі води на кожному горизонті по таблиці [2] знаходиться значення $c_0 + \Delta c$ ($c_0 = 1449,14$ м/с) і записуються в графу 7.

У графі 8 розміщена поправка Δc_z до швидкості звука на солоність, обумовлена по відповідній таблиці [2].

У графі 9 записується поправка Δc_z до швидкості звука на гідростатичний тиск. Вона визначається, як і при використанні формули Дель-Гроссо, по табл. 1 даної роботи.

Поправка до швидкості звука $\Delta c_{s,T,p}$, що записується в графі 10, визначається по таблиці "Поправка на взаємодію солоності, температури і глибини" у [2].

Повне значення горизонтальної швидкості звука (c_{ITS}) на кожному

горизонті обчислюється підсумовуванням складових (графи 7-10) і записується в графі 11. Обчислення горизонтальної швидкості поширення звука по таблицях провадиться з точністю до сотих часток м/с.

3. У графі 12 записуються значення градієнту швидкості звука $G_c = dc/dz$, обчислені як різниця значень швидкості звука на двох горизонтах, поділена на товщину прошарку в метрах. Розмір градієнту швидкості виражається в c^{-1} . Градієнт позитивний, якщо швидкість звука з глибиною збільшується, і негативний, якщо зменшується.

4. Значення середньої вертикальної швидкості звука від поверхні моря до дна необхідні для ехолотування. Ці значення обчислюються по формул! середньовагового розміру.

У графі 13 записуються середні по прошарках значення горизонтальної швидкості звука, а в графі 14 сума добутків $\Delta c_i \Delta c_z$.

5. Побудувати криві $c(z)$ вертикального розподілу горизонтальної швидкості звука, називані часто профілями швидкості звука, обчислені за формулами Дель-Гроссо і Вільсона.

Для цього на міліметровому папері по осі абсцис відкласти значення горизонтальної швидкості звука, а по осі ординат - горизонта, для яких швидкість звука обчислена, і всі нанесені точки з'єднати плавною кривою.

Рекомендуються такі масштаби: для мілководної станції в морі масштаб глибин 10м - 1см, швидкості звука 5м/с - 1см; для станції в океані масштаб глибин 100м - 1см, масштаб швидкості звука 1м/с - 1см.

Аналогічним образом побудувати криві $G_c(z)$ розподілу градієнту швидкості звука. Рекомендується масштаб значень градієнту швидкості звука: для станції в морі $0,5c^{-1}$ - 1см, для глибоководної океанологічної станції $0,05c^{-1}$ - 1 см.

Таблиця 1.2 – Обчислення горизонтальної швидкості звука на різних глибинах, середньої вертикальної швидкості звука і градієнту швидкості на ст. 1062 (північно-західна частина Атлантичного океану)

z, м	T, °C	S, ‰	Розрахунок за формулою Дель-Гроссо			Розрахунок за формулою Вільсона							
			c_{TS}	Δc_z	c_{zTS}	$c_0 + \Delta c_T$	Δc_S	Δc_z	Δc_{PTS}	c_{zTS}	G_C	C_i	$C_i \Delta z_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	8.60	34.48	1484.0	0.2	1484.2	1485.04	-0.73	0.17	0.02	1484.50	-0.157	1432.93	29658.6
20	7.68	34.50	1480.5	0.5	1481.0	1481.54	-0.70	0.50	0.02	1481.36	-0.396	1477.40	29548.0
40	5.57	34.58	1472.3	0.8	1473.1	1473.19	-0.59	0.82	0.01	1473.43	-0.103	1472.40	29448.0
60	4.97	34.63	1469.9	1.2	1471.0	1470.74	-0.52	1.15	0.00	1471.37	-0.022	1470.86	58834.4
100	4.58	34.73	1468.3	1.8	1470.1	1469.12	-0.38	1.82	0.00	1470.56	-0.003	1470.86	73524.0
150	4.32	34.80	1467.3	2.6	1469.9	1468.04	-0.28	2.64	0.00	1470.40	0.001	1470.48	73522.0
200	4.12	34.85	1466.6	3.5	1470.1	1467.21	-0.21	3.47	-0.01	1470.46	0.002	1471.43	147086.0
300	3.92	34.86	1465.8	5.1	1470.9	1466.36	-0.20	5.12	-0.01	1471.27	0.010	1470.86	294472.0
500	3.62	34.87	1464.5	8.4	1472.9	1465.10	-0.18	8.44	-0.01	1473.35	-	1472.36	-

$$c_{септ} = 1472,18 \text{ м/с}$$

ЗАВДАННЯ №2

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВОДНОГО ЗВУКОВОГО КАНАЛУ В ОКЕАНІ

Мета роботи:

1. Визначити такі елементи підводного звукового каналу: глибину залягання осі каналу, верхньої і нижньої меж, вертикальну протяжність каналу, розмір граничного кута, розмір швидкості звука на осі каналу.

2. За результатами обчислень елементів підводного звукового каналу для заданої станції і за даними про елементи ПЗК ряду інших станцій побудувати такі карти: а) карту глибини залягання осі ПЗК, б) карту розподілу швидкості звука на осі ПЗК, в) карту розподілу граничного кута. Також побудувати графік ПЗК на розрізі по напрямку чотирьох-п'яти станцій із указівкою на ньому осі, верхньої і нижньої меж ПЗК, також профілю дна.

3. Дати характеристику підводного звукового каналу в аналізованому районі океану.

Вихідні дані

1. Значення швидкості поширення звука в океані, обчислені для заданої океанографічної станції по формулі Вільсона в роботі №1, а також крива $c(z)$ розподілу швидкості звука по глибині.

2. Дані про елементи ПЗК для ряду океанологічних станцій виконаних у тому ж районі океану, що і задана станція.

Пояснення

Назва "Підводний звуковий канал" (ПЗК) до деякої міри умовна. Насамперед, вона означає сполучення природних чинників, що сприяють дальньому і наддальньому поширенню звука в океані. Звичайно підводним звуковим каналом називають прошарок води, що прилягає до мінімуму швидкості звука і характеризується спроможністю звукових променів концентрувати в ньому основну частину звукової енергії.

Підводні звукові канали підрозділяються на гідростатичні – обумовлені зростанням швидкості звуку з глибиною за рахунок гідростатичного тиску, і термічні, зобов'язані впливу глибинних або придонних більш теплих або солоних течій. У ряді районів океану можуть бути одночасно обидва види ПЗК.

Розрізняють глибинні і приповерхні підводні звукові канали. У першому випадку вісь ПЗК знаходиться на деякій глибині, у другому випадку вісь ПЗК збігається з поверхнею води.

Віссю підводного звукового каналу називається горизонталь, що збігається з глибиною, на якій швидкість звука мінімальна. Вона є рівнем, по котрому і поблизу якого поширюється основна частина звукової енергії.

За верхню і нижню межі ПЗК приймають глибини, на яких граничний звуковий промінь, що поширюється в каналі відчуває повний, внутрішній відбиток. Кожна частина ПЗК має однаковий знак градієнту швидкості звука (верхня - негативний, нижня - позитивний).

Межами підводного звукового каналу є глибини, на яких швидкості звука рівні. Межами ПЗК можуть бути поверхня моря, область, що безпосередньо прилягає до дна, а також глибини, на яких відбувається зміна знаку градієнту швидкості звука (наприклад, нижня межа прошарку ветрового або конвективного перемішування). Отже, підводний звуковий канал в океані звичайно розташовується між верхнім максимумом швидкості звука і глибиною, на якій швидкість звука дорівнює цьому максимуму.

Різниця між глибинами нижньої і верхньої меж ПЗК визначає його товщину. Перепад швидкості звука де (різниця між максимальними і мінімальними значеннями швидкості звука в межах каналу) характеризує кути виходу тих променів із випромінювача, що знаходиться на осі ПЗК, що поширюються в межах підводного звукового каналу.

Звуковий промінь, що стосується верхньої і нижньої меж ПЗК називається граничним променем, а кут утворений їм із горизонталлю, граничним кутом. Звичайно цей кут в океані не перевищує 10-15°.

Звукові промені вихідні з випромінювача під кутами менше граничного проходять цілком у межах ПЗК. Вони відчувають повний, внутрішній відбиток, не досягаючи меж хвильоводу. Ці промені звичайно називають каналними променями. Звукові промені, що виходять із випромінювача під кутами більше граничного, називають відбитими. Ці промені покидають хвильовид і вадбиваються від дна і поверхні води.

Розмір граничного кута, що залежить безпосередньо від перепаду швидкості звука Δc , визначає ту частину звукової енергії, що поширюється в межах ПЗК.

Розрахунок граничного кута ПЗК роблять по одній з таких формул, що утворюються на підставі вщомого закону Снеллуса (цьому закону підпорядковується явище рефракції звука в морській воді).

$$\theta_{\text{пред}} \cong \sqrt{\frac{2\Delta c}{c_0}} = \sqrt{\frac{2(c_0 - c_s)}{c_0}} \quad (2.1)$$

або

$$\theta_{\text{пред}} \cong \sqrt{\frac{c_0^2 - c_s^2}{c_0^2}} \quad (2.2)$$

У цих формулах:

C_0 - швидкість звука в точках повного внутрішнього відбитка на межах ПЗК;

C_s - швидкість звука на осі ПЗК.

Обидві ці формули дають близькі результати.

Порядок виконання роботи

1. За графіком $c(z)$ виділити підводний звуковий канал і визначити його основні елементи.

Для цього спочатку знайти верхній максимум швидкості звука (c_0) і глибину, на якій швидкість звука дорівнює верхньому максимуму. Знайдені точки профілю швидкості звука відповідають глибинам розташування верхньої і нижньої меж ПЗК. Протяжність пунктирної лінії, що з'єднує ці точки, з урахуванням використаного масштабу глибин дозволить визначити товщину ПЗК.

Глибина залягання осі ПЗК визначається по мінімумі швидкості звука на кривій вертикального розподілу швидкості звука. Швидкість звука на осі ПЗК знімається безпосередньо з графіка.

2. Обчислити розмір граничного кута по формулах (2.1) і (2.2). Збіг значень, обчислених по обох формулах, може служити контролем слушності обчислень.

3. Побудувати карти глибини залягання осі ПЗК, швидкості поширення звука на осі ПЗК і розмірів граничних кутів ПЗК у межах аналізованого району.

4. Побудувати графік вертикальної будівлі ПЗК на розрізі по обраному напрямку.

Для цього на міліметровому папері по осі абсцис відкласти відстань між обраними станціями в морських милях у масштабі 30 миль - 1 см, по осі ординат глибини в метрах у масштабі 200 м - 1 см.

На вертикалі кожної обраної станції завдати точки, що відповідають глибинам залягання осі, верхньої і нижньої меж ПЗК. Отримані точки з'єднати відповідно плавними кривими. Вони і покажуть розташування осі, верхньої і нижньої меж ПЗК на океанографічному розрізі.

Приклад розрахунку

Для виділення підводного звукового каналу і визначення його елементів використані розраховані в роботі 1 швидкості звука по формулі Вільсона на ст. 1062 ($\varphi = 60^\circ 03'$ пн. ш., $\lambda = 58^\circ 52'$ з.д.), а також дані про елементи каналу в ряді інших станцій, розташованих у північно-західній частині Атлантичного океану (див. *табл. 2.1*)

Таблиця 2.1- Приклад розрахунку елементів ПЗК

Характеристика	Номер станції					
	1064	1066	970	1040	1042	1044
Глибина залягання осі, м	150	150	175	135	110	100
Глибина верхньої межі, м	15	20	0	0	0	0
Глибина нижньої межі, м	1600	1575	2035	1400	910	300
Швидкість звука на осі, м/с	1471,	1469,6	1473,0	1467,4	1464,5	1451,0
Граничний кут , град	2,1	1,3	3,7	3,4	5,0	9,4
Глибина станції, м	2964	3430	2983	2277	950	600

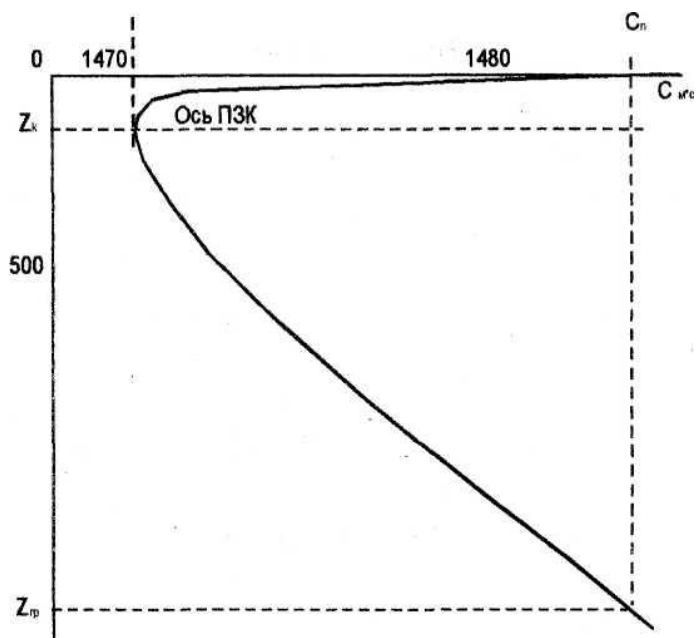


Рис. 2.1 – Визначення елементів підводного звукового каналу для станції 1062 ($\varphi=60^{\circ}03'$ пн.ш., $\lambda=58^{\circ}52'$ з.д.)

Як очевидно з *рис. 2.1* елементи підводного звукового каналу на ст. 1062 мають такі значення:

1. вісь розташована на глибині 150 м;
2. верхня межа розташована на поверхні;
3. нижня межа розташована на глибині 1290 м;
4. вертикальна потужність каналу складає 1290 м;
5. швидкість звука на осі каналу дорівнює 1470,31 м/с;
6. граничний кут $\theta_{gp} = 0,131$ рад, або $\theta_{gp} = 7,5^{\circ}$.

ЗАВДАННЯ № 3

РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ПОВНОГО ЦИКЛУ ЗВУКОВОГО ПРОМЕНЯ У ПІДВОДНОМУ ЗВУКОВОМУ КАНАЛІ

Мета роботи

1. Розрахувати характеристики повного циклу звукового променя в залежності від кутів ковзання при постійних градієнтах швидкості звука у верхніх і нижніх частинах ПЗК.

а) час пробігу звукового променя (для всіх кутів ковзання через 1° , включаючи значення граничного кута);

б) розмір вертикального розмаху (для кутів ковзання 1° , 3° і граничного);

в) розмір горизонтального протягу (для кутів ковзання 1° , 3° і граничного);

г) розмір середньої швидкості горизонтального пробігу (для кута ковзання 1° , 3° і граничного);

Всі характеристики повинні бути обчислені для верхнього і нижнього напівциклів і для повного циклу звукового променя.

2. Побудувати графік ходу звукових променів у межах одного циклу для кутів ковзання 1° , 3° і граничного.

3. Побудувати графік залежності часу пробку від кутів ковзання для верхнього і нижнього напівциклів і повного циклу звукового променя.

Вихідні дані

Значення градієнту швидкості звука, обчислені для заданої океанографічної станції в межах усіх глибин у роботі №1 (див. табл.1.1).

Пояснення

Нехай звуковий промінь виходить із випромінювача, що знаходиться на осі ПЗК, під кутом менше граничного, із невеличким відхиленням нагору. Розповсюджуючись спочатку в умовах негативної рефракції і поступово зменшуючи нахил до обрію, звуковий промінь досягає рівня, на якому відчуває повний внутрішній відбиток, завертає униз і повертається до осі хвильоводу, що перетинає під тим же кутом, під яким вийшов із джерела. Після перетинання осі, звуковий промінь потрапляє в нижню частину хвильоводу, де виявляється позитивна рефракція. Кут ковзання звукового променя з глибиною поступово зменшується, промінь знову відчуває повний внутрішній відбиток (ПВВ), но вже нижче осі, повертає нагору і знову повертається до осі хвильоводу під тим же кутом, що і раніше.

Надалі хід звукового променя повторюється. Перетинаючи багаторазово вісь підводного звукового каналу, промінь поперемінно поширюється в умовах те негативної, то позитивної рефракції. При цьому

для даного звукового променя на всьому його протязі надаються постійним кут перетинання променем осі хвильоводу, розміри відхилень променя від осі, як вище, так і нижче її, горизонтальні відстані між двома послідовними перетинаннями осі каналу.

Частина звукового променя, у межах якого він двічі відчуває ПВВ і повертається до осі хвильоводу, називають циклом звукового променя (або просто циклом).

Повний цикл звукового променя складається з двох напівциклів (верхнього і нижнього). Кожний напівцикл променя являє собою ту частину його траєкторії, що обмежена двома послідовними перетинаннями осі хвильоводу і включає один повний внутрішній відбиток.

Виділяють такі елементи циклу (напівциклу) звукового променя (рис.3.1).

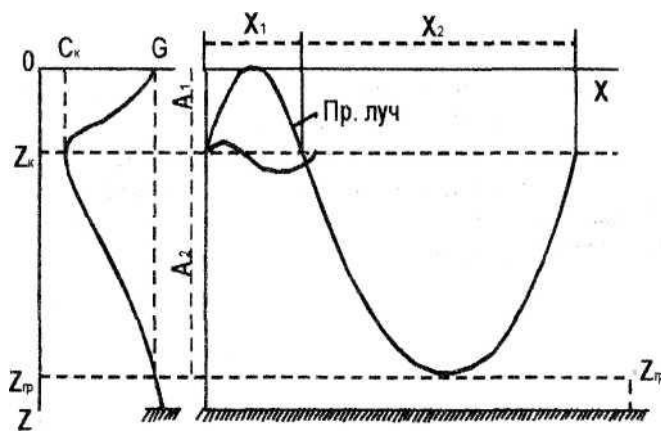


Рис. 3.1 - Хід звукових променів у межах одного циклу для різноманітних кутів ковзання. Джерело на осі каналу.

1) кут перетинання осі хвильоводу (дорівнює куту виходу променя з джерела, розташованого на осі підводного звукового каналу) θ_s ;

2) горизонтальна протяжність X (проекція траєкторії звукового променя на горизонтальну вісь у межах циклу або напівциклу), для циклу $X = X_1 + X_2$ (X_1 - горизонтальна протяжність верхнього напівциклу, X_2 - нижнього напівциклу);

3) розмах (амплітуда) A (проекція траєкторії звукового променя в межах циклу, напівциклу на вертикаль), для циклу $A = A_1 + A_2$ (A_1 - розмах верхнього напівциклу, A_2 - розмах нижнього напівциклу);

4) час поширення звука уздовж променя, для циклу $T = T_1 + T_2$ (T_1 - для верхнього напівциклу, T_2 - для нижнього);

5) середня швидкість горизонтального пробігу звукового імпульсу по промені в межах циклу (напівциклу) $C_{сер. гор.}$.

Для розрахунку елементів циклу (напівциклу) можуть бути використані такі формули, що впливають із теорії хвильового поширення звука в океані, запропоновані Л.М. Бреховських, для умов постійних

градієнтів швидкості звука в межах верхніх і нижніх частин підводного звукового каналу.

Горизонтальний протяг напівциклу звукового променя в прошарку постійного градієнту швидкості звука

$$X = 2 \frac{C_s}{G_c} \operatorname{tg} \theta_s \quad (3.1)$$

де C_s - швидкість звука на горизонті випромінювача (у даному випадку на осі хвилеводу);

G_c - середнє значення градієнту звука в прошарку з його однаковим знаком.

Розмах напівциклу звукового променя в прошарку постійного градієнту швидкості звука

$$A = \frac{1}{2} X \operatorname{tg} \frac{\theta_s}{2} \quad (3.2)$$

Час пробігу напівциклу звукового променя в прошарку постійного градієнту швидкості звука

$$T = \frac{2}{G_c} \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_s}{2} \right) \quad (3.3)$$

Середня швидкість горизонтального пробігу напівциклу (циклу) променя в прошарку постійного градієнту швидкості звука:

$$C_{\text{сер.гор.}} = C_s \frac{\operatorname{tg} \theta_s}{\operatorname{gd}^{-1} \theta_s} \quad (3.4)$$

Очевидно, що $C_{\text{сер.гор.}}$ залежить від C_s і θ_s відкiля впливає, що середня швидкість горизонтального пробігу однакова для верхнього і нижнього напівциклів звукового променя, тобто для всього циклу променя.

Якщо розрахунок елементів циклу звукового променя провадиться для великої кількості станцій, то обчислення безпосередньо по цих формулах стають незручними. У цьому випадку необхідно використовувати ПК.

Порядок виконання роботи

1. Визначити середні значення градієнту швидкості звука у верхньої G_{c1} і нижньої G_{c2} частинах підводного звукового каналу.

2. По формулах (3.1-3.4) або номограмам И.М.Завиловича [5] визначити елементи верхнього і нижнього напівциклів і повного циклу звукового променя для необхідних кутів ковзання.

Час пробігу розрахувати для всіх кутів ковзання (через 1°), інші характеристики для кутів 1° , 3° і граничного кута.

3. Побудувати графік ходу звукового променя в межах одного циклу для кутів виходу звукового променя з джерела, рівних 3° і граничного. Для цього на міліметровому папері, по осі абсцис відкласти горизонтальні відстані в масштабі 1 км - 1 см, а по осі ординат відкласти глибини в масштабі 100 м - 1 см.

4. На графіку провести горизонт, що збігається з віссю хвилеводу. Від довільної точки осі відкласти дві точки, що відповідають двом наступним перетинанням осі звуковим променем. На вертикалях, проведених через середини напівциклів, відкласти у відповідні сторони від осі відрізки, рівні розмірам розмахів напівциклів звукового променя. Кінці відрізків відповідають точкам, де звуковий промінь відчуває повний внутрішній відбиток.
5. Далі необхідно з'єднати плавною кривою послідовно точки перетинання осі і точки ПВВ. Отримана крива і буде показувати хід звукового променя в межах циклу.
6. Побудувати графік зміни часу пробігу в залежності від кута ковзання для верхнього і нижнього напівциклів і повного циклу звукового променя. Для цього на міліметровому папері по осі абсцис відкласти значення кутів ковзання в масштабі $0,5^\circ$ - 1 см, а по осі ординат час пробігу в секундах у масштабі 2,5 с - 1 см.

Приклад розрахунку

Розрахунок зроблений для ст. 1062 (див. роботу №2). Середній градієнт швидкості звука у верхній частині підводного звукового каналу складає $G_{c1} = -0,135 \text{ с}^{-1}$, а в нижній частині $G_{c2} = 0,009 \text{ с}^{-1}$. Розміри часу пробігу розрахувати по формулі (5.5). Інші характеристики повного циклу звукового променя визначити за допомогою номограм П. М. Завиловича [6]. Джерело звука розташовано на осі каналу.

Акустичні умови на ст. 1062 є типовими для формування циклів звукових променів у підводному звуковому каналі (при помешканні джерела звука на осі каналу). Великі розходження в середніх градієнтах швидкості звука у верхніх і нижніх частинах каналу призводять до того, що характер напівциклів (верхнього і нижнього) сильно відрізняється. Для всіх променів напівцикли надаються різко асиметричними. Як очевидно з *рис. 3.2* і *табл. 3.1*:

- а) час пробігу уздовж променя збільшується з ростом кутів ковзання, але зі зменшенням градієнтів швидкості звука;
- б) середня горизонтальна швидкість пробігу найменша для положистих променів, найбільша - для крутих, вірніше, для граничних променів;

в) горизонтальний протяг і вертикальний розмах також збільшуються з ростом кутів ковзання. Вони максимальні для граничних кутів.

Таблиця 3.1- Величина часу пробігу (сек) для різних кутів ковзання

α , град.	Верхній напівцикл ($G_1 = -0,135$ c^{-1}) T_1	Нижній напівцикл ($G_2 = 0,009$ c^{-1}) T_2	Повний цикл, T
1	0,26	3,61	3,87
2	0,53	7,66	8,19
3	0,81	11,75	12,56
4	1,06	15,32	16,38
5	1,33	19,40	20,73
6	1,60	23,49	25,09
7	1,84	26,40	28,24
7,5	1,93	28,40	30,33

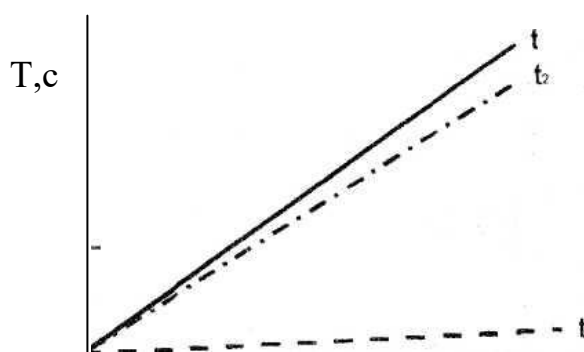


Рис. 3.2 - Залежність часу пробігу від кутів ковзання на ст. 1062
($\varphi = 60^\circ 03'$ пн.ш., $\lambda = 58^\circ 52'$ з.д.):

1 – повний цикл; 2 – нижній напівцикл; 3 - верхній напівцикл.

Таблиця 3.2 - Характеристики повного циклу звукового променю для різних кутів ковзання

Характеристики	$\theta_y = 1^\circ$			$\theta_y = 3^\circ$			$\theta_y = 7,5^\circ$		
	Верх. напів	Ниж. напівц.	Повн. цикл	Верх. напівц.	Ниж. напівц.	Повн. цикл	Верх. напівц.	Ниж. напівц.	Повн. цикл
1. Час пробігу, T	0.26	3.61	3.87	0.81	11.75	12.56	1.93	28.40	30.33
2. Сер.гориз.шв., м/с	-	-	1470.3	-	-	1471.1	-	-	1474.4
3. Гориз.протяг, X	0.38	5.31	5.69	1.2	17.3	18.5	2.8	41.9	44.7
4. Верт.розмах, A	1.65	24.3	25.9	15.5	224.9	240.4	913.7	1382.7	1476.4

3 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ СТУДЕНТІВ

3.1 Методика оцінки всіх видів підготовки студентів

Кредитно-модульна система оцінки знань, вмінь та навичок передбачає розподіл програми залікового модуля "Акустика і оптика океану" навчальної дисципліни «Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності» на структурно-логічні завершені змістовні модулі, які можна оцінити певною кількістю балів.

П'ять змістовних модулів: три з теоретичної частини курсу – ЗМ–Л1, ЗМ–Л2, ЗМ–Л3 та два з практичної частини – ЗМ–П1 і ЗМ–П2. Види завдань та кількість балів, що нараховані за їх вчасне виконання, додаються у наступній таблиці.

Форма контролю рівня засвоєння змістових модулів (ЗМ):

- опитування під час практичних та лекційних занять;
- виконання практичної роботи під наглядом викладача в аудиторії;
- письмові контрольні роботи з теоретичної частини.

№ п/п	Види завдань, за які нараховуються бали	Максимальна кількість балів, яка може бути нарахована за захист модуля
1	2	3
Теоретичний змістовий модуль №1		
1	Теоретична контрольна робота з дисципліни	20
Теоретичний змістовий модуль №2		
1	Теоретична контрольна робота з дисципліни	20
Теоретичний змістовий модуль №3		
	Теоретична контрольна робота з дисципліни	20
	Загальна сума по теоретичним модулям	60
Практичний змістовий модуль №1		
1	Практична робота: «Розрахунок швидкості розповсюдження звуку»	20
2	Практична робота: «Визначення елементів підводного звукового каналу в океані»	20
Практичний змістовий модуль №2		
3	Практична робота: «Розрахунок характеристик повного циклу звукового променя у підводному звуковому каналі»	20
	Загальна сума по практичному модулю	40
Загальна кількість балів з дисципліни		100

Сума отриманих балів складається з суми виконаних своєчасно контрольних заходів. Максимальна сума балів, яку може набрати студент, складає 100 балів, з них по теоретичному курсу – 60 балів, по практичній частині – 40 балів.

Організація підсумкового контролю побудована згідно чинного положення «Про проведення підсумкового контролю знань студентів» врахування накопичених студентом за навчальний семестр результатів поточного контролю та підсумкового контролю.

Формою підсумкового контролю є іспит. Іспит формується у вигляді тестових завдань закритого типу по всьому переліку питань за усіма модулями дисципліни. Загальний бал іспиту є еквівалентом відсотка правильних відповідей на запитання.

Підсумкова оцінка є середнім арифметичним між семестровою оцінкою та оцінкою, отриманою на іспиті.

Шкала переходу до якісної 5-бальної системи оцінювання

За національною шкалою	За шкалою ECTS	За системою ОДЕКУ(у %)
відмінно	A	90-100
добре	B	82-89,9
	C	74-81,9
задовільно	D	64-73,9
	E	60-63,9
не задовільно	FX	35-59,9
	F	01-34,9

3.2 Перелік базових знань та вмінь

Узагальнюючи інформацію, що викладена в підпунктах 2.1 та 2.2, можна навести повний перелік базових знань та вмінь з залікового модуля "Акустика і оптика океану" дисципліни «Океанологічне забезпечення морегосподарської діяльності»:

Знати:

- основні закономірності розповсюдження світла і звуку в морському середовищі;
- вплив різних явищ на це розповсюдження ;
- принципові риси мінливості швидкості звуку в океані ;
- типи хвильового рівняння та принципи його рішення ;
- хвильовий та променевий підхід до опису звукових полів;
- оптичні властивості морської води ;

- їх залежність від параметрів морського середовища ;
- закономірності розповсюдження світла у воді.

Вміти:

- обчислювати швидкість звуку різними методами, враховуючи недоліки кожного з них;
- розраховувати траєкторію звукового променя при заданих умовах;
- оцінювати характеристики підводного звукового каналу;
- розраховувати траєкторію звукового променя в підводному звуковому каналі;
- оцінювати оптичні характеристики океанських вод;
- провести аналіз розподілу таких оптичних параметрів як прозорість та освітленість морської води ;
- розраховувати альбедо на морській поверхні при різних умовах.