

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки  
до самостійної роботи студентів денної форми навчання  
з дисципліни  
"АКУСТИКА ТА ОПТИКА ОКЕАНУ"  
Спеціальність – "Океанологія"

Затверджено на засіданні  
методичної комісії  
гідрометеорологічного інституту  
пр. № 2 від " 28" 10\_\_\_\_\_ 2013 р.  
Голова комісії  
\_\_\_\_\_ Овчарук В.А.

Затверджено на засіданні  
кафедри океанології та  
морського природокористування  
пр. № 4 від "25" 09\_\_\_\_\_ 2013 р.  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Тучковенко Ю.С.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки  
до самостійної роботи студентів денної форми навчання  
з дисципліни  
"АКУСТИКА ТА ОПТИКА ОКЕАНУ"

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки  
до самостійної роботи студентів денної форми навчання  
з дисципліни

"АКУСТИКА ТА ОПТИКА ОКЕАНУ"

Затверджено на засіданні  
методичної комісії  
гідрометеорологічного інституту  
пр. № \_\_ від " \_\_ " \_\_\_\_\_ 2013 р.

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни "Акустика та оптика океану" для студентів денної форми навчання за спеціальністю "Океанологія">// Укладач: ст. викладач Даниленко О.О., Одеса, ОДЕКУ, 2013, 41 с., укр. мова.

## Зміст

	стор.
Передмова .....	5
1. Зміст дисципліни та організація самостійної роботи студентів.....	7
1.1. Організація самостійної роботи студентів.....	9
2. Рекомендації по вивченню теоретичного матеріалу.....	12
2.1. Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю.....	34
2.2. Практичні завдання.....	36
3. Рекомендації по підготовці до контрольних робіт.....	37
4. Організація поточного та підсумкового контролю знань.....	37
Література.....	40

## Передмова

Навчальна дисципліна "Акустика та оптика океану" є однією з вибіркових дисциплін підготовки студентів освітньо-кваліфікаційного рівня – спеціаліст за спеціальністю "Океанологія" (7.04010502).

Метою дисципліни є вивчення розділів фізики океану, які не входять до основного курсу на кваліфікаційному рівні "бакалавр", але можуть бути потрібні спеціалістам у галузі гідрометеорології. Таким чином, завданням дисципліни є надання знань та вмінь з основних питань та оптики океану. Внаслідок вивчення цих розділів "Фізики океану" студент повинен **знати** основні поняття та характеристики акустичних та оптичних полів, закономірності розповсюдження світла та звуку в океанічному середовищі, їх просторові розподіли, характеристики просторово-часової мінливості, вплив різних явищ на таке розповсюдження та практичне використання цих характеристик. Студент повинен **вміти** обчислювати швидкість розповсюдження звуку в різних гідрологічних умовах, будувати променеві картини, визначати підводний звуковий канал та його параметри, оцінювати оптичні характеристики океанічних вод, та проводити аналіз зв'язку акустичних та оптичних характеристик з гідрологічними умовами. "Акустика та оптика океану" базується на тих знаннях і вміннях, які вже були отримані з дисциплін "Вища математика", "Фізика", "Фізика океану", "Фізична океанологія" та "Регіональна океанологія". У подальшому знання з цієї дисципліни можуть бути використані у дипломному проектуванні..

Вказівки складаються з рекомендацій до виконання різних видів робіт, а саме:

- самостійному вивченню окремих тем основних теоретичних розділів дисципліни;
- виконанню практичних розрахункових робіт;
- виконанню контрольних робіт та складанню іспиту.

В результаті опанування цієї дисципліною студент повинен **знати** основні закономірності розповсюдження світла і звуку в морському середовищі, вплив різних явищ на це розповсюдження. Студент повинен

**вміти** обчислювати швидкість розповсюдження звуку в різних умовах, оцінювати оптичні характеристики океанських вод.

Нижче наведено програму курсу, вказана література до кожного розділу, питання для самоперевірки за темами та розділ з організації контролю знань студентів.

## 1. Зміст дисципліни та організація самостійної роботи студентів

1.1. Пружні властивості морської води. Розповсюдження акустичних коливань в залежності від параметрів стану океану. Хвильове рівняння. Типи акустичних хвиль. Зв'язок акустичного тиску, коливальної швидкості та її потенціалу.

**Література** (основна – [1], розд. 1; [2], розд. 8.1.-8.3; [3], розд. 7.1 ).

1.2. Основні положення променевої акустики. Відбиття та заломлення звукового променя на плоскій границі двох середовищ. Коефіцієнти відбиття та пропускання. Поглинання звука різної частоти у морській воді. Розсіювання звуку. Основні розсіювачі. Основні положення реверберації в океані.

**Література** (основна – [1], розд. 1; [2], розд. 8.7, 8.8, 8.10; [3], розд. 7.6, 7.9).

1.3. Хвильове розповсюдження звуку в океані та його теорія. Підводний звуковий канал. Фокусування звукових променів. Енергетичні характеристики акустичного поля. Інтенсивність звуку. Каустики. Енергетика підводного звукового каналу, структура акустичного поля. Акустичні шуми в океані, їх походження. Відмінність шумів за частотними спектрами та інтенсивністю.

**Література** (основна – [1], розд. 1; [2], розд. 8.4, 8.9, 8.11; [3], розд. 7.2, 7.7, 7.8)

1.4. Основні характеристики оптичних властивостей морської води: поглинання світла морською водою; розсіювання світла; загальне ослаблення світла в морській воді. Залежність оптичних характеристик від кількісного та якісного складу розчинених та змулених речовин.

**Література** (основна – [1], розд. 2; [2], розд. 7.1, 7.3, 7.4; [5], розд. 2, 3 ).

1.5. Потік променевої енергії, який надходить на поверхню океану. Спектральне та кутове розподілення. Відбиття та заломлення світла поверхнею океану, вплив хвилювання.



**Література** (основна – [1], розд. 2; [2], розд. 7.6; [5] , розд. 4, 5, 6).

1.6. Підводна освітленість. Закономірності зміни освітленості з глибиною, вплив поверхневого хвилювання. Зміни спектрального складу світла.

**Література** (основна – [1], розд. 2; [2], розд. 7.7, 7.8; [5], розд. 7, 10).

1.7 Колір моря. Методи визначення кольору океану. Спектр випромінювання океану, залежність від показників поглинання та розсіювання.

**Література** (основна – [1], розд. 2; [2], розд. 7.9; [5], розд. 13).

Методичне забезпечення дисципліни – бібліотека університету та кафедра має у своїх фондах наступні видання:

### **Література**

Основна:

1. Даниленко О.О. Акустика та оптика океану. (конспект лекцій, електр. версія). – Одеса: ОДЕКУ, 2013. – 120 с.
2. Фізика океана. (под ред. Доронина Ю.П.) – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 296 с.
3. Шулейкин В.В. Фізика моря.- М: Наука, 1968. - 520 с.
4. Доронин Ю.П. Фізика океана - Л.: Гидрометеоздат, 1978. -236 с.
5. Ерлов Н.Г. Оптика моря.- Л.: Гидрометеоздат, 1980.-236 с.
6. Сташкевич А.П. Акустика моря.- Л.: Судостроение, 1966. -295 с.
7. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Акустика та оптика океану». Укладач доц. Рубан І.Г., Одеса, 2003.

Додаткова

8. Андреева И.В. Физические основы распространения звука в океане.- Л.: Гидрометеоздат, 1975. -276 с.

## **1.1. Організація самостійної роботи студентів**

Зміст кожної теми вивчається за допомогою наведеного у 1 розділі переліку навчальної та методичної літератури. Після засвоєння змісту теми потрібно відповісти на питання до самоконтролю.

Перелік тем теоретичного матеріалу, практичні роботи та графік заходів щодо контролю самостійної роботи наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Організація самостійної роботи студентів з курсу “Акустика та оптика океану”

Змістовний модуль	Розділи	Завдання	Кількість годин СРС	Контрольні заходи	Термін проведення
1	2	3	4	5	6
ЗМ-Л1	Акустика океану	Підготовка до лекцій.	4	Усне опитування	4 неділя
		Підготовка до контрольної роботи. Самостійне вивчення розділів теоретичного матеріалу.	5 30		Контрольна робота
ЗМ-Л2	Оптика океану	Підготовка до лекцій.	4	Усне опитування	9 неділя
		Підготовка до контрольної роботи. Самостійне вивчення розділів теоретичного матеріалу.	5 28		Контрольна робота
ЗМ-П1	Розрахунок швидкості розповсюдження звуку. Розрахунок траєкторії звукового променя	Підготовка до усного опитування	18	Усне опитування	7 неділя

ЗМ-П2	Розрахунок деяких гідро оптичних характеристик за результатами натурних спостережень	Підготовка до усного опитування	9	Усне опитування	11 неділя
		<b>Разом</b>	103*		

\* - Таким чином, загальна кількість годин СРС складається з підготовки до лекційних занять (8 годин), усного опитування під час проведення практичних робіт (27 годин), вивчення окремих розділів теоретичного матеріалу (58 годин) і контрольних робіт (10 годин)

## 2. Рекомендації по вивченню теоретичного матеріалу

Тема: Пружні властивості морської води. Розповсюдження акустичних коливань в залежності від параметрів стану океану. Хвильове рівняння. Типи акустичних хвиль. Зв'язок акустичного тиску, коливальної швидкості та її потенціалу.

Рекомендації по вивченню теми.

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 рибки довжиною у кілька сантиметрів в 100 м<sup>3</sup> 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  $\Phi$  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 коливань, 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 стискання).

У Світовому океані швидкість звуку змінюється приблизно від 1450 до 1540 мс<sup>-1</sup> 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<sup>-2</sup>).

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<sup>-1</sup>, також відбувається зростання швидкості звуку при зростанні глибини, і також не лінійно.

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.

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?  
Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.1.

Тема: Основні положення променевої акустики. Відбиття та заломлення звукового променя на плоскій границі двох середовищ. Коефіцієнти відбиття та пропускання. Поглинання звуку різної частоти у морській воді. Розсіювання звуку. Основні розсіювачі. Основні положення реверберації в океані.

Рекомендації по вивченню теми.

Тема знайомить студентів з променевою теорією розповсюдження звуку в океані. 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), розсіяння (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 розсіяння 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 покрову 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 (залагають 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 флуктуації 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. Відбиття та переломлення акустичних хвиль. 2. Поглинання акустичних хвиль в морі.. 3. Променева теорія розповсюдження звуку. 4. Розсіювання акустичних хвиль в морському середовищі. 5. Умови розповсюдження звуку біля поверхні океану? 6. Умови розповсюдження звуку біля дна океану. 7. Вплив неоднорідності товщі океану на розповсюдження звуку. 8. Вплив неоднорідності товщі океану на розповсюдження звуку. 9. Поняття звукорозсіюючого шару та його характеристики.

Перелік питань для самоконтролю: 1. Чим відрізняється розповсюдження звуку біля дна від поверхні? 2. Для дослідження ґрунту дна використовується звук: а) низьких частот; б) високих частот; в) ультразвук? 3. Для розсіювання звукових хвиль біля дна найбільше значення мають нерівності: а) макрорельєфу; б) мікро і мезорельєфу; в) піщані хвилі? 4. Які океанологічні характеристики грають головну роль у розсіюванні звуку: а) флуктуації солоності; б) флуктуації течій; в) флуктуації температури?

5. Бульбашки газів у морській воді викликають: а) фокусування звуку; б) розсіювання та поглинання; в) ніяк не впливають? 6. Звукорозсіюючий шар – це скопичення: а) біологічних об'єктів; б) зважених мінеральних часток; в) бульбашок газів? 7. Звукорозсіюючий шар в океанах : а) займає стаціонарне положення; б) має тільки сезонні вертикальні міграції; в) має добові вертикальні міграції? 8. Рефракція звуку - це викривлення променя: а) у бік збільшення швидкості звуку; б) у бік зменшення швидкості звуку; в) у бік горизонту випромінювання?

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.2.

Тема: Хвильове розповсюдження звуку в океані та його теорія. Підводний звуковий канал. Фокусування звукових променів. Енергетичні характеристики акустичного поля. Інтенсивність звуку. Каустики. Енергетика підводного звукового каналу, структура акустичного поля. Акустичні шуми в океані, їх походження. Відмінність шумів за частотними спектрами та інтенсивністю.

Рекомендації по вивченню теми.

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 больового 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: а) незначний, не створює перешкод при ідентифікації сигналів; б) має визначений спектр; в) має мінливий спектр за компонентами?

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.3.

Тема: Основні характеристики оптичних властивостей морської води:

поглинання світла морською водою; розсіювання світла; загальне ослаблення світла в морській воді. Залежність оптичних характеристик від кількісного та якісного складу розчинених та замулених речовин.

#### Рекомендації по вивченню теми.

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. Головні 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 багатолопастій 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  $\lambda$ . 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  $\epsilon$ - коефіцієнт ослаблення нескінченно тонкого шару води, на який падає пучок світла у нормальному напрямку, віднесений до товщини цього шару. Показник ослаблення  $\epsilon$  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.

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.

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?

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.4.

Тема: Потік променевої енергії, який надходить на поверхню океану. Спектральне та кутове розподілення. Відбиття та заломлення світла поверхнею океану, вплив хвилювання.

Рекомендації по вивченню теми.

**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).

Звернути увагу на такі питання: 1. Освітленість поверхні океану. 2. Кутове та спектральне розподілення. 3. Відбиття та заломлення світла. 4. Вплив поверхневих хвиль.

Перелік питань для самоконтролю: 1. За наявності високих тонких хмар освітленість поверхні моря: а) зростає; б) зменшується; в) не змінюється? 2. Альбедо поверхні моря визначається головним чином: а) станом поверхні моря; б) висотою Сонця; в) кольором моря? 3. Половина загального потоку променевої енергії Сонця втрачається у верхньому шарі води товщиною: а) 1 мм; б) 0.5 м; в) 5 м?

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.5.

Тема: Підводна освітленість. Закономірності зміни освітленості з глибиною, вплив поверхневого хвилювання. Зміни спектрального складу світла.

Рекомендації по вивченню теми.

**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. Випромінення, що зайшло під поверхню моря, ослаблюється через поглинання (ГЧ 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 вибіркоким поглинанням світла.

Структура світлового поля при зануренні у море постійно трансформується, головним чином – яскравість, яка залежить від глибини і напрямку ( $\theta, \varphi$ ) ( $\theta$  і  $\varphi$  – 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  $z_6$  (глибина видимості білого диска). Третя – на глибинах, більших за  $4 z_6$ . 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

Звернути увагу на такі питання: 1. Підводна опроміненість. 2. Яскравість світлового поля у морі та її зональний розподіл. 3. Особливості зон за яскравістю світлового поля.

Перелік питань для самоконтролю: 1. На глибинах, що перевищують 100 м з усього спектру світла залишається: а) жовтий колір; б) зелений колір; в) синій колір? 2. Яскравість світлового поля у морі та її зональний розподіл.



3.Глибини розташування зон, виділених за особливостями функції яскравості.

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.6.

Тема: Колір моря. Методи визначення кольору океану. Спектр випромінювання океану, залежність від показників поглинання та розсіювання.

#### Рекомендації по вивченню теми.

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. Прозорість морської води. 2. Колір морської води та колір моря. 3. Свічення та цвітіння морської води. 4. Спектр випромінювання океану та його залежність від показників поглинання і розсіювання.

Перелік питань для самоконтролю: 1. Прозорість морської води визначається: а) температурою води; б) солоністю води; в) концентрацією та розмірами завислих часток? 2. Прозорість морської води при хвилюванні : а) зменшується; б) зростає; в) не змінюється? 3. Колір води у Світовому океані: а) має регіональні особливості; б) однаковий; в) залежить від зовнішніх факторів. 4. Колір моря зумовлюється: а) зовнішніми умовами; б) температурою та солоністю; в) завислими частками у воді? 5. Свічення моря зумовлюється: а) гідродинамічними факторами; б) атмосферними процесами; в) морськими організмами?

Посилання на літературу наведено у розділі 1, пункт 1.7.

## **2.1. Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю**

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. Вертикальний розподіл швидкості звуку, межі мінливості швидкості звуку у Світовому океані?

6. Підводний звуковий канал (ПЗК) в океані?
7. Характеристики ПЗК та його типи?
8. Характерні види вертикального розподілу швидкості звуку в океані?
9. Умови розповсюдження звуку біля поверхні океану?
10. Умови розповсюдження звуку біля дна океану?
11. Вплив неоднорідності товщі океану на розповсюдження звуку?
12. Поняття звукорозсіюючого шару та його характеристики?
13. Шуми океану та їх вплив на акустичне поле?
14. Поглинання акустичних хвиль та головні механізми цього процесу?
15. Вплив релаксаційних процесів на енергетику акустичних хвиль?
16. Теорії розповсюдження звуку в океані?
17. Особливості променевої картини при лінійному зменшенні швидкості звуку з глибиною?
18. Променева картина при лінійному зростанні швидкості звуку з глибиною?
19. Оцінка інтенсивності акустичного поля в океані у межах променевої теорії?
20. Оптичні методи вивчення океану?
21. Проблеми і завдання оптики океану?
22. Фотометричні показники світлового поля?
23. Поняття про групи оптичних характеристик?
24. Первинні оптичні характеристики?
25. Коефіцієнт пропускання та поняття прозорості морської води?
26. Освітленість поверхні океану?
27. Оптичний склад морської води?
28. Поглинання світла чистою та морською водою?
29. Розсіювання світла морською водою та його мінливість?
30. Підводна опроміненість?
31. Яскравість світлового поля у морі та її зональний розподіл?
32. Особливості зон за яскравістю світлового поля?
33. Прозорість морської води?
34. Колір морської води та колір моря?
35. Свічення та цвітіння морської води?

## 2.2. Практичні завдання

Тема: Обчислення швидкості розповсюдження звуку.

Звернути увагу на такі питання: 1.Проблеми використання теоретичної формули. 2.Загальна структура емпіричних формул. 3.Визначення середньої вертикальної швидкості звуку. 4.Визначення вертикального градієнту швидкості звуку.

Перелік питань для самоконтролю: 1.Які емпіричні формули рекомендовані на даний час? 2.Точність визначення швидкості звуку за емпіричними формулами. 3.Рекомендована поправка швидкості звуку на глибину.

Література (основна – 7, практична роб. №1; 1; 4).

Тема:Визначення елементів підводного звукового каналу в океані.

Звернути увагу на такі питання: 1.Основні параметри підводного звукового каналу (ПЗК). 2.Види ПЗК. 3. Поняття осі ПЗК 4.Поняття граничного променя і граничного кута.

Перелік питань для самоконтролю: 1.Визначення меж ПЗК. 2.При яких кутах випромінювання промені розповсюджуються у межах каналу? 3. Що характеризує перепад швидкості звуку у межах каналу.4. Яким чином визначається вісь ПЗК?5.Як визначаються межі ПЗК?

Література (основна – 7, практична роб. №2; 1; 4).

Тема: Розрахунок характеристик повного циклу звукового променя у підводному звуковому каналі.

Звернути увагу на такі питання: 1.Поняття позитивної і негативної рефракції. 2.Поняття повного циклу звукового променя.. 3.Елементи повного циклу променя.

Перелік питань для самоконтролю: 1.Як впливають розходження середніх градієнтів у верхній і нижній частинах каналу на профіль променя? 2.Від чого залежить час пробігу променя? 3.Для яких променів середня горизонтальна швидкість пробігу найменша? 4. Як впливає величина кута ковзання на горизонтальний протяг і вертикальний розмах променя?

Література (основна – 7, практична роб. №3; 1; 4).

Тема: Розрахунок траєкторії звукового променя і дальності дії гідролокатора.  
Звернути увагу на такі питання: 1. Основні передумови градієнтного методу розрахунку дальності гідролокації. 2. Основні аргументи формули гідролокації за градієнтним методом. 3. Поділ траєкторій звукових променів у залежності від профілю швидкості звуку. 4. Основні передумови методу, що базується на положеннях геометричної оптики.

Перелік питань для самоконтролю: 1. Яким законом описується розповсюдження звукового променя у шарувато – неоднорідному середовищі? 2. Які характеристики променя дозволяє визначити співвідношення Снеліуса? 3. Як залежить коефіцієнт поглинання звукової енергії від частоти звуку?

Література (основна – 7, практична роб. №4; 1; 4).

### **3. Рекомендації по підготовці до контрольних робіт**

Контрольні роботи студенти денної форми навчання виконують під час аудиторних занять у терміни, визначені Робочою програмою дисципліни, та вказані у Таблиці 1. На контрольні роботи винесені, головним чином, питання з тих тем, що вивчаються самостійно. Усього передбачено при вивченні теоретичного курсу дві контрольні роботи, які оцінюються по 20 балів кожна. Кожне питання контрольної роботи потребує розгорнутої відповіді і максимальна сума за кожне складає сто відсотків. Оцінка за контрольну роботу є середньоарифметичною з оцінок за кожне питання а також враховує оцінки, отримані під час усного опитування за темами, що вивчались на лекціях та самостійно.

### **4. Організація поточного та підсумкового контролю знань**

Методика модульного контролю з дисципліни «Акустика та оптика океану» розроблена у відповідності з тимчасовим положенням про кредитно-модульну систему організації навчального процесу в ОДЕКУ, затвердженим Вченою Радою ОДЕКУ 30.06.2005 р.

До модулів відносяться:

- в теоретичному курсі – окремі розділи, які викладаються в лекціях та готуються самостійно;

- у практичних заняттях – теми занять, які виконуються згідно з методичними вказівками в аудиторії під керівництвом викладача.

Інтегральна оцінка засвоєння студентом знань та вмінь по навчальній дисципліні складається з оцінок, одержаних з різних модулів. При цьому в інтегральну (підсумкову) оцінку входять оцінки з кожного виду занять і кожного модуля зі своєю вагою, яка відображає:

а) значимість даного модуля з точки зору засвоєння студентами базових знань і умінь;

б) ритмічність роботи студента, тобто виконання студентом контрольних заходів в термін, який встановлено навчальним планом дисципліни.

Підсумкова атестація передбачає оцінку знань та вмінь студента у вигляді іспиту.

Увесь програмний навчальний курс з "Акустики та оптики океану" розбито на 4 окремих логічно пов'язаних модулів: теоретичний курс 2 модуля та, практичний курс 2 модуля. Інтегральна оцінка засвоєння студентами знань та вмінь по дисципліні складається з оцінок, отриманих студентом за окремі модулі.

Контроль поточних та залишкових знань здійснюється за допомогою систематичного опитування студентів як під час лекційних так і практичних занять, контрольних робіт та іспиту.

В цілому на дисципліну виділено 120 балів: 40 балів на оцінку теоретичних знань за результатами контрольних робіт і 80 балів – на практичну частину.

Теоретичні знання оцінюються за допомогою двох контрольних робіт (по 20 балів).

Кожна з чотирьох практичних робіт також оцінюється в 20 балів за такими показниками: присутність на занятті, підготовленість до нього, правильність розрахунків, якість оформлення та захист роботи.

### **Критерії оцінки по іспиту**

У відповідності з методичними цілями письмових іспитів – формування у студентів цілісної системи знань та вмінь, а також перевірка

знань з базової компоненти теоретичної частини дисципліни – питання у екзаменаційних білетах формуються у вигляді тестових завдань відкритого типу і потребують розгорнутої відповіді на поставлене питання.

У кожному білеті міститься по 3 питання, а максимальна сума за кожне складає сто відсотків згідно з таблицею 4. 1. Оцінка за іспит є середньоарифметичною з оцінок за кожне питання.

Таблиця 4.1. Кількісні та якісні критерії оцінки письмової відповіді на тестове запитання відкритого типу

За системою університету (у відсотках)	Визначення	За національною системою
2	3	4
90 - 100	відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)
82 – 89.9	вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)
74 – 81.9	в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	4 (добре)
64 – 73.9	непогано, але зі значною кількістю помилок	3 (задовільно)
60 – 63.9	виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)
35 – 59.9	з можливістю перескласти	2 (незадовільно)
1 – 34.9	з обов'язковим повторним курсом навчання	2 (незадовільно)

Згідно з "Положенням про проведення підсумкового контролю знань студентів в ОДЕКУ" загальна кількісна оцінка є усередненою між кількісною оцінкою поточних контролюючих заходів та кількісною оцінкою семестрового заходу (іспиту) і визначається згідно шкали ЄКТАС (табл. 4.2).

Вона доводиться до відома студентів на початку семестру.

Якщо студент за підсумками іспиту отримав загальну кількісну оцінку менше 50%, то викладачем виставляється загальний бал успішності, який дорівнює балу успішності на іспиті.

Студент не допускається до іспиту у випадку виконання ним менш ніж 50% від практичної частини дисципліни.



Таблиця 4.2. Шкала оцінювання за системою ЄКТАС та системою Університету

За шкалою ECTS	За системою університету (у відсотках)	Визначення	За національною системою
1	2	3	4
A	90 - 100	відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)
B	82 – 89.9	вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)
C	74 – 81.9	в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	4 (добре)
D	64 – 73.9	непогано, але зі значною кількістю помилок	3 (задовільно)
E	60 – 63.9	виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)
FX	35 – 59.9	з можливістю перескласти	2 (незадовільно)
F	1 – 34.9	з обов'язковим повторним курсом навчання	2 (незадовільно)

## Література

Основна:

1. Даниленко О.О. Акустика та оптика океану. (конспект лекцій, електр. версія). – Одеса: ОДЕКУ, 2013. – 120 с.
2. Физика океана. (под ред. Доронина Ю.П.) – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 296 с.
3. Шулейкин В.В. Физика моря.- М: Наука, 1968. - 520 с.
4. Доронин Ю.П. Физика океана - Л.: Гидрометеиздат, 1978. -236 с.
5. Ерлов Н.Г. Оптика моря.- Л.: Гидрометеиздат, 1980.-236 с.
6. Сташкевич А.П. Акустика моря.- Л.: Судостроение, 1966. -295 с.
7. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Акустика та оптика океану». Укладач доц. Рубан І.Г., Одеса, 2003.

Додаткова

8. Андреева И.В. Физические основы распространения звука в океане.-  
Л.: Гидрометеиздат, 1975. -276 с.