

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА
ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ
«ГІДРОФІЗИКА»

для студентів IV-V курсів заочної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки
до самостійної роботи та виконання контрольної роботи
з дисципліни «Гідрофізика»
для студентів IV-V курсі заочної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

Узгоджено
у навчально-консультаційному центрі

Одеса 2018

Методичні вказівки з організації самостійної роботи студента та виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Гідрофізики» для студентів IV-V курсу заочної форми навчання спеціальності 103 «Науки про землю». Укладач: Шаменкова О.І. Одеса: ОДЕКУ, 2018. 53 с., укр. мова.

ЗМІСТ

		Стор.
	Вступ.....	4
1	Загальна частина.....	6
	1.1 Мета і задачі дисципліни	6
	1.2 Перелік тем занять	8
	1.3 Перелік навчальної літератури.....	10
	1.4 Перелік знань та вмінь за темами дисципліни	10
	1.5 Контролюючі заходи з дисципліни	13
2	Організація самостійної роботи по виконанню завдань на СРС.....	14
	2.1 Перелік завдань на самостійну роботу.....	14
	2.2 Рекомендації щодо послідовного вивчення теоретичного ма- теріалу.....	14
3	Організація контролю знань та вмінь студентів.....	17
	3.1 Форма контролю знань та вмінь.....	17
	3.2 Перелік контролюючих заходів.....	21
	3.3 Вимоги до студентів на контролюючих заходах.....	24
	3.4 Форма проведення консультацій викладача.....	25
4	Завдання і пояснення по виконанню контрольних робіт.....	26
	Додаток А	52

ВСТУП

Метою методичних вказівок – є допомога студентам заочної форми навчання спеціальності 103 «Науки про землю» вищої освіти рівня бакалавр в самостійній роботі при вивченні дисципліни «Гідрофізика».

Самостійна робота студентів включає :

- підготовку до лекційних (ВЛМ, ПЛЗ) та практичних занять (ПКЗ, ПУОП);
- підготовку до написання контрольних робіт (ПМКР);
- підготовку до іспиту (І).

В загальній частині цих методичних вказівок наведені мета і задачі дисципліни, які відповідають робочій навчальній програмі, місце її серед інших дисциплін навчального плану підготовки. Надається перелік основної та додаткової навчальної літератури та перелік знань і вмінь, якими повинен володіти студент після засвоєння даної дисципліни. Наводиться перелік і графік контролюючих заходів поточного контролю.

В розділі "Організація самостійної роботи по виконанню завдань на СРС" міститься:

- перелік завдань на самостійну роботу, які передбачені навчальним планом і програмою курсу;
- рекомендації щодо послідовного вивчення теоретичного матеріалу даної дисципліни.

Розділ «Організація контролю знань і вмінь студентів» містить перелік форм контролю знань та вмінь студентів, контролюючих заходів, вимоги, до студентів на контролюючих заходах, форма проведення консультацій викладача тощо.

Наукова робота студентів передбачає індивідуальну науково-дослідну роботу, результати якої представляються на університетських, всеукраїнських та міжнародних конференціях з публікацією тез і статей та участь у роботі наукових семінарів кафедр тощо.

Тільки після вивчення окремої частини курсу та його засвоєння, що вказана у програмі, можна приступати до виконання відповідної контрольної роботи.

Вивчення дисципліни „Гідрофізика” включає:

- оглядові лекції;
- самостійне вивчення теоретичного курсу;
- виконання контрольної роботи;
- підсумковий контроль.

Відповідно освітньо-професійної програми для бакалаврів «Науки про землю» (240 кредитів ЄКТС) http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/103_b_gm_OPP.pdf дисципліна «Гідрофізика» містить 2 лекційні змістовні модулі ЗМ-Л1 і ЗМ-Л2 та 1 практичний змістовний модуль ЗМ-П1.

Методичні вказівки містять не тільки перелік основних питань курсу, але й вказівки, як самостійно працювати над курсом.

До кожної теми надаються вказівки до порядку вивчення дисципліни, список навчальної літератури та звертається увага на основні положення і важкі для розуміння розділи. Методичні вказівки включають контрольні завдання та вказівки про порядок їх виконання.

При вивченні курсу необхідно добитися повного та свідомого засвоєння теоретичних основ дисципліни, що вивчається, навчитися застосувати теорію до рішення практичних завдань та оволодіти проведенням технічних розрахунків. Тільки тоді, коли буде вивчена окрема частина курсу, що вказана у програмі, можна приступати до виконання відповідної контрольної роботи.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Мета і задачі курсу

Дисципліна «Гідрофізика» - вибіркова для підготовки гідрологів рівня вищої освіти бакалавр і є базою для подальшої підготовки фахівців за спеціалізацією «гідрологія» та використовується ними в їх практичній діяльності.

Мета дисципліни – формування у бакалаврів знань про закономірності фізичних властивостей природних вод та фізичних процесів у водних об'єктах і запасах вологи у річкових водозборів в деякому агрегатному виді: нагрівання та охолодження, випаровування, льодоутворення, сніготання, тощо.

Дисципліна «Гідрофізика» – одна з найбільш важливих частин при підготовці бакалаврів в галузі гідрології. Використовується у рішенні багатьох господарчих задачах, у гідроенергетиці, при проектуванні гідротехнічних споруд.

Завдання дисципліни – формування у студентів-бакалаврів розуміння суті фізичних процесів, та вміння виконувати гідрофізичні розрахунки.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, отриманих при попередньому вивченні таких дисциплін, як вища математика, фізика, геофізика, методи гідрометеорологічних вимірювань, фізична гідрологія.

Головне завдання дисципліни «Гідрофізика» – вивчення фізичних властивостей природних вод суші і фізичні процеси, які в них відбуваються, тепловий баланс водоймищ, льодоутворення та руйнування льодового покриву, особливості термічного режиму водосховищ.

Після вивчення дисципліни студенти повинні вміти виконувати інженерні розрахунки рівняння теплового балансу, розрахунки температури води сучасними методами, а також розрахунки товщини льодового покриву.

Отримані студентами знання та вміння використовуються при вивченні таких дисциплін як „Гідрологічні прогнози”, „Меліоративна гідрологія”.

Дисципліна забезпечена підручниками, посібниками, методичними вказівками в достатній кількості.

В результаті вивчення дисципліни «Гідрофізика» бакалаври повинні **знати:**

- визначення фізичних якостей природних вод;
- аномальні якості води;
- фізичні процеси у водних об'єктах;
- фізичні процеси які відбуваються у водоймах;

- способи та закономірності передачі тепла;
- рівняння теплового балансу в різних формах;
- процес льодоутворення;
- процес руйнування льодового покриву;
- процес випаровування.

На основі отриманих знань бакалаври повинні **вміти:**

- використовувати отримані знання при вирішенні теплофізичних задач;
- розрахувати дату початку льодоутворення на річках;
- розрахувати температуру поверхні води та температуру води за глибиною;
- розрахувати довжину ополонки;
- розрахувати товщину льоду і прогноз водного режиму річок та озер.

Структурні блоки курсу:

1. Гідрофізика, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами.
2. Основи теорії теплообміну.
3. Рівняння теплового балансу.
4. Диференціальне рівняння теплопровідності.
5. Стаціонарне температурне поле.
6. Нестационарне температурне поле.
7. Гідротермічні розрахунки річок та водойм.
8. Льодовотермічні розрахунки річок та водойм.

1.2 Перелік тем лекційного курсу та практичних занять

Лекційні модулі 1, 2

Змістовні модулі	Назва змістовного модуля	Назва теми
ЗМ-Л1	Вступ. <i>1. Гідрофізика, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами.</i>	Короткі відомості про історію формування науки. Основні принципи і методи вивчення гідрофізики. Теоретичні і експериментальні дослідження. Сучасні задачі. Теплове забруднення річок і водоймищ. Аномальні властивості води.
	<i>2. Основи теорії теплообміну.</i>	Теплота. Тепловий потік. Температурне поле. Ентальпія. Засоби передачі тепла: теплопровідність, конвекція, променистий теплообмін. Основні закономірності передачі тепла. Закон Фур'є. Закон Ньютона. Закон Стефана-Больцмана. Теплові режими.
	<i>3. Рівняння теплового балансу</i>	Рівняння Остроградського-Гауса. Рівняння Фур'є-Кирхгофа. Рівняння теплового балансу водних об'єктів. Визначення його складових: сумарна сонячна радіація, випромінювання атмосфери та водної маси, теплообмін з атмосферою та дном, затрати тепла на випарування, виділення теплоти при льодоутворенні тощо. Рівняння теплового балансу непроточної водойми.
	<i>4. Температурне поле. Стационарне і нестационарне температурне поле.</i>	Стационарне температурне поле. Одномірне температурне поле із внутрішнім джерелом теплоти. Двомірне температурне поле. Двомірне нестационарне температурне поле.
ЗМ-Л2	<i>1. Розрахунок температури тіла.</i>	Одномірне плоске тіло. Багатошарове плоске тіло. Методи вирішення рівняння Лапласа: графічний, релаксації, електротеплової аналогії. Вирішення рівняння теплопровідності. Метод кінцевих різниць.
	<i>2. Диференціальне рівняння теплопровідності.</i>	Вивід рівняння теплопровідності твердого тіла. Рівняння теплопровідності з джерелом теплоти. Вивід рівняння теплопровідності турбулентного потоку.

		ку. Умови однозначності: початкові (часові), межові, фізичні та геометричні.
	<i>3.Гідротермічні розрахунки річок та водойм.</i>	Метод аналогії. Метод емпіричних залежностей. Метод послідовного наближення. Метод розрахунку температури у водосховищі.
	<i>4.Льодовотермічні розрахунки річок та водоймищ.</i>	Умови появи льоду по Л.Г.Шуляковському. Внутрішньоводний лід, умови утворення. Шуга, розрахунок витрат шуги та кількості льоду у зажорі. Утворення заторів та розрахунки кількості льоду у заторі. Динамічні навантаження льоду на гідротехнічні споруди.

**Перелік тем практичних занять
Практичний модуль**

Змістовні модулі	Назва змістовного модуля	Назва теми
Практичний модуль 1		
ЗМ-П1	Розрахунок гідрофізичних характеристик річок та водойм	1.Розрахунок довжини ополонки.
		2.Розрахунок теплопередачі від води до повітря крізь льодовий покрив.
		3.Розрахунок температури води по глибині під льодом слабопроточного водосховища.
		4.Розрахунок наростання товщини льодового покриву.
		5. Розрахунок температури поверхні води водойм в період, вільний від льоду.
		6. Розрахунок дати початку льодоутворення.

**Теми практичної частини
контрольної роботи у міжсесійний період - ВМКР**

№ теми	Назва теми
1.	«Розрахунок теплопередачі від води до повітря крізь снігольодяний покрив»
2	«Розрахунок розподілу температури води по глибині під льодом слабопроточного водосховища»
3	«Розрахунок довжини ополонки»
4	«Розрахунок наростання товщини льоду»

1.3 Перелік навчальної літератури

Основна

1. Винников С.Д., Проскураков Б.В. Гидрофизика.Л. -: Гидрометеоздат, 1988.- 248 с.
2. Гопченко Є.Д., Кресс Л.Є. Теплообмін у водних об'єктах. Одеса, 1997.- 103 с.
3. Крес Л.Є. Гідрофізика. Конспект лекцій. - Одеса. 2006.- 117 с.
4. Електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com

Додаткова

1. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. Л.-: Гидрометеоздат, 1983.- 176 с.

Перелік методичних вказівок до практичних занять

1. Крес Л.Є. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни “Гідрофізика”. – Одеса, ОДЕКУ, 2007. – 82 с.

1.4 Перелік знань та вмінь за темами дисципліни

Лекційний модуль

Модуль лекційний – 1 (ЗМ-Л1) передбачає перевірку самостійної роботи студентів в міжсесійний період, ступінь засвоєння ними основних теоретичних положень цього змістовного модуля, вивчення розділів теоретичного матеріалу першого змістовного модуля для підготовки до контро-

люючого заходу (міжсесійної письмової контрольної роботи), а також підготовку до контрольної роботи у сесійний період.

Після вивчення **ЗМ-Л1** студенти повинні оволодіти наступними знаннями:

- задача дисципліни «Гідрофізика», об'єкти вивчення, предмет вивчення;
- головні методи досліджень в гідрофізиці;
- головні аномальні властивості води;
- засоби передачі тепла;
- основні закономірності передачі тепла;
- рівняння теплового балансу водних об'єктів;
- визначення складових рівняння водного балансу;
- рівняння теплового балансу непроточної водойми;
- стаціонарне і не стаціонарні температурні поля.

Наявне в бібліотеці університету і на кафедрі гідрології суші навчально-методичне забезпечення цього модуля:

1. Крес Л.Є. Гідрофізика. Конспект лекцій. - Одеса. 2006.- 117с
2. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гидрофизика. Л. -: Гидрометеиздат, 1988.
3. Гопченко Є.Д., Крес Л.Є. Теплообмін у водних об'єктах. Одеса. 1997.
4. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. Л. -: Гидрометеиздат, 1980.
5. Крес Л.Є. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни "Гідрофізика". – Одеса, ОДЕКУ, 2007. – 82 с.
6. Електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com

Модуль лекційний – 2 (**ЗМ-Л2**) передбачає перевірку самостійної роботи студентів в міжсесійний період, ступінь засвоєння ними основних теоретичних положень цього змістовного модуля, вивчення розділів теоретичного матеріалу другого змістовного модуля для підготовки до контролюючого заходу (міжсесійної письмової контрольної роботи), а також підготовку до контрольної роботи у сесійний період.

Після вивчення **ЗМ-Л2** студенти повинні оволодіти наступними знаннями:

Після вивчення **ЗМ-Л2** студенти повинні оволодіти наступними знаннями:

- розв'язання диференційного рівняння теплопровідності твердого тіла;

- розв’язання диференційного рівняння теплопровідності твердого тіла турбулентного потоку;
- умови однозначності;
- розрахунок рівняння теплопровідності;
- метод кінцевих різниць;
- розрахунок одношарового та багат шарового тіла;
- умови льодоутворення та скресання;
- механізм наростання товщі льоду;
- льодові явища.

Наявне в бібліотеці університету і на кафедрі гідрології суші навчально-методичне забезпечення цього модуля:

1. Крес Л.Є. Гідрофізика. Конспект лекцій. - Одеса. 2006.- с
1. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гідрофізика. Л. -: Гидрометеоиздат, 1988.
2. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. Л.-: Гидрометеоиздат, 1980.
4. Крес Л.Є. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни “Гідрофізика”. – Одеса, ОДЕКУ, 2007. – 82 с.
5. Електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com

Практичний модуль

Модуль практичний – 1 (ЗМ-П1) передбачає перевірку самостійної роботи студентів як у міжсесійний період (ОМ), так і під час проведення аудиторних практичних занять (ОЗЕ), що включають підготовку та захист виконаної контрольної роботи та практичної роботи.

Після вивчення **ЗМ-П1** студенти повинні оволодіти наступними вміннями:

- розрахунок складових рівняння теплового балансу;
- визначення сумарної кількості теплоти, поглинутої водою;
- метод розрахунку температури поверхні води за методом теплового балансу;
- розрахунок коефіцієнта теплопровідності та температуропровідності.
- визначати умови льодоутворення;
- умови Л.Г. Шуляковского;
- обчислити коефіцієнт тепловіддачі;
- визначити питому тепловіддачу водної поверхні;
- визначати можливість появи перших льодових утворень;

- розрахунок дати початку льодоутворення.

Нааявне в бібліотеці університету і на кафедрі гідрології суші навчально-методичне забезпечення цього модуля:

1. Крес Л.Є. Гідрофізика. Конспект лекцій. - Одеса. 2006.- 117с.
2. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гідрофізика. Л. -: Гидрометеиздат, 1988.
3. Гопченко Є.Д., Крес Л.Є. Теплообмін у водних об'єктах. Одеса. 1997.
4. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. Л.-: Гидрометеиздат, 1980.
5. Крес Л.Є. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни "Гідрофізика". – Одеса, ОДЕКУ, 2007. – 82 с.
6. Електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com

1.5 Перелік і графік контрольних заходів

Впродовж навчального семестру проводяться змістовні контрольні роботи у міжсесійний та сесійний періоди згідно з графіком заходів поточного контролю.

№	Вид контролюючих заходів	За розкладом занять
1	Міжсесійна контрольна робота (КЗ)	м/сесія
2	Сесійна практична робота (ПР)	сесія
3	Іспит	сесія

До захисту практичних робіт студенту потрібно:

1. На практичні заняття принести зошит 12-24 аркушів, лінійку, мікрокалькулятор.
2. Отримати від викладача вихідні дані та методичні вказівки, ознайомитись зі змістом методичних вказівок та порадами викладача.
3. Обробити вихідні дані, виконати необхідні розрахунки, графіки, таблиці, оформити пояснювальну записку.
4. Після закінчення роботи над завданням студент повинен представити пояснювальну записку, графіки, розрахункові матеріали, відповіді на питання, які задає викладач.
5. При відповіді на запитання викладача потрібно довести, що студент знає і розуміє мету і задачу практичної роботи, знає фізичні і теоретичні основи завдання. Відповіді та завдання оцінюються певною кількістю балів.

2 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ПО ВИКОНАННЮ ЗАВДАНЬ НА СРС

2.1 Перелік завдань на самостійну роботу

Самостійна робота студента (СРС) є основним засобом набуття певних компетенцій у час, вільний від аудиторних навчальних занять. Індивідуальна робота студента передбачає створення умов для як найповнішої реалізації творчих можливостей студентів через індивідуально-спрямований розвиток їхніх здібностей, науково-дослідну роботу і творчу діяльність. Все це досягається через виконання індивідуальних завдань (ІЗ), які мають на меті поглиблення, узагальнення та закріплення знань, що студенти отримують у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

З дисципліни «Гідрофізика» використовуються такі основні форми СРС:

- вивчення певних тем лекційних модулів;
- підготовка до лекційних та практичних занять;
- підготовка до заходів поточного та підсумкового контролю

СРС:

- виконання міжсесійної роботи.

2.2 Рекомендації до послідовного вивчення теоретичного матеріалу

Лекційний модуль 1

ЗМ-Л1

При вивченні *першого розділу* дисципліни «Гідрофізика, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами» студенти повинні засвоїти загальні відомості про фізичні процеси, які протікають у водних об'єктах, предмет та задачі, об'єкти дослідження, основні поняття в дисципліні, зміст основних методів дослідження. Увагу треба приділити аномальним властивостям води.

При вивченні *другого розділу* програми «Основи теорії теплообміну» необхідно знати що таке теплота, тепловий потік, питомий тепловий потік, інтенсивність теплового потоку. Мати уяву про «ентальпію». Визначати поняття «температурне поле». Звернути увагу на те, що всі переходи енергії з одного виду в інший підпорядковуються закону збереження енергії, який є основою складання рівняння енергетичного балансу. Мати уяву про елементи теорії теплопередачі. Необхідно відрізнити засоби передачі тепла, а також закономірності передачі тепла такі як: теплопровідність, конве-

кція, променистий теплообмін. Знати закони якими описується передача тепла.

У *третьому розділі* програми «Рівняння теплового балансу» треба приділити увагу складовим рівнянням теплового балансу, як формуються прихідна та витратна частини, відрізнити основні складники рівняння. Засвоїти в чому полягає фізична основа теплового балансу, різні форми рівняння теплового балансу. Належить розрізнявати рівняння теплового балансу поверхні та об'єму; поверхня може знаходитись на поверхні тіла або всередині нього і може бути замкнутою чи незамкнутою; об'ємом може бути усе тіло або його частина. Об'єкти складання рівняння теплового балансу – поверхня або об'єм – можуть бути скінченними або нескінченно малими, це ж відноситься і до періоду часу рівняння теплового балансу – воно може бути скінченним чи нескінченно малим. Тому існують різні форми рівняння теплового балансу: алгебраїчні, диференціальні, інтегральні і змішані. Рівняння теплового балансу виражає закон збереження і перетворення енергії.

При вивченні *четвертого розділу* програми «Диференціальне рівняння теплопровідності» необхідно знати, яким диференціальним рівнянням можна описати тепловий процес та який закон лежить в основі цього рівняння. Знати основні складники рівняння теплового балансу для елементарного об'єму речовини. Треба приділити увагу виводу диференціального рівняння теплопровідності твердого тіла, а також диференціального рівняння теплопровідності твердого тіла з джерелом теплоти. Мати уяву, яким шляхом розповсюджується теплота у турбулентному потоці, знати диференціальне рівняння теплопровідності турбулентного потоку. Для того, щоб з його допомогою вирішити конкретну задачу, необхідно сформулювати так звані умови однозначності. Тому необхідно знати, з яких чинників вони складаються.

Література
[1], стор.5-32.

Лекційний модуль 2

ЗМ-Л2

У *першому розділі* програми «Температурне поле, розрахунок температури тіла» необхідно приділити увагу питанню стаціонарності, однорізного та багат шарового плоского тіла, розподіленню температури по товщі одношарового плоского тіла. Знати як визначається температура на межі між шарами сніго-льодяної товщі. Мати уявлення про рівняння розподілу температури у товщі плоского тіла з внутрішнім джерелом теплоти.

Знати у чому полягає графічний метод розв'язання рівняння Лапласа. Вміти пояснити суть методу релаксації.

При вивченні *другому розділу* програми «Нестационарне температурне поле» треба знати, в чому полягає метод кінцевих різниць для розв'язання рівняння теплопровідності одновимірного температурного поля при нестационарному режимі, як розв'язується рівняння теплопровідності при двовимірному температурному полі та які умови однозначності необхідні для розв'язання. Необхідно визначати, в чому полягає суть моделювання температурних полів, що таке критерій Фур'є.

У *третьому розділі* програми «Гідротермічні розрахунки річок та водойм» слід розглянути питання господарського використання річок та водойм і проектування нових споруд з урахуванням термічного режиму для розрахунків випаровування з поверхні води та складників рівняння теплового балансу, аналізу льодового режиму і його прогнозу тощо.

За відсутності даних спостережень температура води визначається розрахунками. В залежності від наявності матеріалів спостережень, особливостей водних об'єктів, розрахункового інтервалу часу тощо використовуються такі розрахункові методи: аналогії, емпіричних залежностей та аналітичні методи, що базуються на рівнянні теплового балансу чи рівнянні теплопровідності. Також вміти виконувати розрахунки температури води відкритих водотоків (метод послідовних наближень).

Четвертий розділ другого модуля програми «Льодотермічні розрахунки річок та водойм» присвячений закономірностям льодоутворення, суті льодових явищ та знання фізичних властивостей. Регулювання льодових процесів може мати на меті покращення льодових явищ, наприклад, збільшення товщини льодяного покриву при будівництві льодових шляхів, прискорення скресання для збільшення тривалості навігації, попередження утворення заторів та зажорів тощо. Необхідно знати основні умови утворення льоду на річках та водоймах, умови початку льодоутворення за Л.Г.Шуляковським. Знати основні фактори утворення ополонки та як розраховується довжина ополонки.

Література

[1], стор.46-66, 93-143.

Перелік питань для самоперевірки за даними темами дисципліни наведений в розділі методичних вказівок «*Організація контролю знань та вмінь студентів*» (див.далі).

3 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ СТУДЕНТІВ

3.1 Форма контролю знань та вмінь

Перелік базових знань та вмінь з дисципліни «Гідрофізика»

Базові знання	Вміння
<p>ЗМ-Л1 Аномальні властивості води. Основи теорії теплообміну. Теплота. Тепловий потік. Температурне поле. Ентальпія. Засоби передачі тепла: теплопровідність, конвекція, променистий теплообмін. Основні закономірності передачі тепла. Закон Фур'є. Закон Ньютона. Закон Стефана-Больцмана. Рівняння теплового балансу. Рівняння Остроградського-Гауса. Рівняння Фур'є-Колмогорова. Рівняння теплового балансу водних об'єктів. Визначення його складових: сумарна сонячна радіація, випромінювання атмосфери та водної маси, теплообмін з атмосферою та дном, затрати тепла на випарування, виділення теплоти при льодоутворенні. Рівняння теплового балансу непроточної водойми. Температурне поле. Стаціонарне і нестаціонарне температурне поле. Одномірне, двомірні, трьомірні температурні поля, поля із внутрішнім джерелом теплоти.</p>	<p>ЗМ-П1 Розрахунок складових рівняння теплового балансу; розрахунок температури води водойми; метод розрахунку температури поверхні води за методом теплового балансу; розрахунок радіаційного балансу; ефективне випромінювання; розрахунок теплопередачі; розрахунок довжини ополонки; розрахунок значення температури на границях розділу окремих шарів; розрахунок коефіцієнта теплопровідності та температуропровідності.</p>
<p>ЗМ-Л2 Розрахунок температури тіла. Одномірне плоске тіло. Багат шарове плоске тіло. Методи вирішення рівняння Лапласа. Вирішення рівняння теплопровідності. Метод кінцевих різниць. Вивід рівняння теплопровідності твердого тіла. Рівняння теплопровідності з джерелом теплоти. Вивід рівняння теплопровідності турбулентного потоку. Умови однозначності: початкові (часові), межові, фізичні та геометричні. Гідротермічні розрахунки річок та водойм. Метод розрахунку температури у водосховищі. Умови появи льоду по Л.Г. Шуляковському. Внутрішньоводний лід, умови утворення льодоставу, руйнування льодового покриву.</p>	<p>Визначати умови льодоутворення; умови Л.Г. Шуляковського; обчислити коефіцієнт тепловіддачі; визначити питому тепловіддачу водної поверхні; визначити можливість появи перших льодових утворень; розрахунок температури води методом кінцевих різниць; розрахунок дати початку льодоутворення; пояснювати умови Шмідта; розрахунок коефіцієнта турбулентної теплопровідності та температуропровідності; розрахунок наростання товщини льоду на водоймах; пояснити від яких факторів залежить товщина льоду на водоймах; розрахунок коефіцієнта теплопровідності снігу.</p>

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи організації навчання.

В дисципліні «Гідрофізика» використовується 2 змістовні модулі з теоретичної частини і 1 змістовні модулі з практичної частини. Крім того існує окремий модуль наукової роботи.

Для заочної форми навчання.

Контроль самостійної роботи студентів заочної форми навчання полягає у використанні дистанційних методів, які передбачають застосування сучасних інформаційно-комунікаційних засобів організації контролю, а саме:

- поетапне відправлення студентом виконаних завдань самостійної роботи та отримання зауважень від викладача в режимі «оф-лайн» через мережу Інтернет;
- виконання завдань самостійної роботи безпосередньо в режимі «он-лайн» через мережу Інтернет за допомогою Moodle;
- спілкування (консультації) викладача зі студентами в режимах «оф-лайн» і «он-лайн» через Інтернет у заздалегідь визначені дати та години, що може передбачати як відповіді на запитання студентів щодо окремих тем, пунктів завдань, так і сумісне обговорення найбільш складних тем теоретичного матеріалу, контрольних або курсових робіт, тощо.

Поточний контроль здійснюється на протязі навчального курсу (семестру) за наступними формами:

- перевірка контрольної роботи (курсової роботи (проекту), реферату, розрахунково-графічної роботи), яка виконується у міжсесійний період (ОМ);

- перевірка знань та вмінь студента під час аудиторних занять протягом заліково-екзаменаційної сесії (ОЗЕ).

Сума міжсесійної (ОМ) та сесійної оцінки (ОЗЕ) становить загальну оцінку поточного контролю.

Система оцінювання самостійної роботи студента (СРС) у міжсесійний період (ОМ).

Оцінювання якості виконання завдань на самостійну роботу складається з двох етапів. Перша оцінка – викладач оцінює виконані завдання згідно з Положенням про організацію і контроль самостійної та індивідуальної роботи студентів ОДЕКУ. Другу оцінку студент отримує на початку аудиторних занять з відповідної навчальної дисципліни по результатах тестової роботи з питань, які були включені до завдань на самостійну роботу, що розміщені у робочих програмах навчальних дисциплін. За підсумками двох етапів оцінювання виставляється середня арифметична оцінка виконаного студентом завдання на самостійну роботу.

Вимоги до виконання контрольної роботи (з урахуванням перевірки дистанційними методами), оцінювання та склад контрольної роботи

Оцінка передбачає перевірку контрольної роботи (ВМКР), яку студенти виконують у міжсесійний період і яка включає теоретичну та практичну частини. Кількісна оцінка за цей вид роботи визначається з урахуванням *терміну* надання роботи на перевірку (на протязі семестру), *обсягу* виконання роботи та *глибини* розкриття наданих питань та завдань, а також *оформлення* роботи.

Максимальний бал, що може одержати студент за контрольну роботу (ВМКР) складає **60 балів**, з них на *теоретичну частину* контрольної роботи припадає 20 (4 питання по 2,5 бала за кожне запитання), *практична частина складає* 40 балів (завдання №1 оцінюється в 10 балів, завдання №2 – 10 балів, завдання №3 – 10 балів, завдання №4 – 10 балів).

Максимальний бал, який студенти можуть одержати у міжсесійний період (ОМ), становить **60 балів**. Контрольна робота може бути зарахована, якщо студент отримав 60% -36 бал.

Система оцінювання самостійної роботи студента (СРС) під час аудиторних занять (ОЗЕ).

Тут для оцінки ступеня засвоєння практичної частини передбачається виконання низки практичних робіт (ПКЗ), які охоплюють основні питання практичного розділу дисципліни. Кількісна оцінка за цей вид роботи визначається з урахуванням *ритмічності* роботи студента на протязі занять, *повноти* розкриття тем, *якості* розрахунків та графічних побудов, *достовірності* одержаних висновків, а також результати *захисту* наданих завдань.

Максимальна оцінка роботи студента під час аудиторних занять *заліково-екзаменаційної сесії (ОЗЕ)* становить **40 балів** і включає: оцінку з практичних модулів (усне опитування під час практичних робіт – 10 балів, захист виконаних практичних робіт – 10 балів) та оцінку виконання аудиторної контрольної роботи – 20 балів.

Умови допуску студента до семестрового екзамену

Для заочної форми навчання студент вважається допущеним до підсумкового контролю з навчальної дисципліни, якщо він виконав всі види робіт поточного контролю (міжсесійні ОМ та сесійні ОЗЕ), передбачені робочою навчальною програмою дисципліни, і набрав за накопичувальною системою суму балів не менше **50%** від максимально можливої за дисципліну та своєчасно виконав міжсесійну контрольну роботу.

Методика підсумкового семестрового контролю

Для заочної форми навчання студент, який не має на початок заліково-екзаменаційної сесії заборгованості по дисципліні, що завершується *іспитом*, складає письмовий іспит і накопичена підсумкова оцінка розраховується за формулою

$$ПО = 0,5 \times ОПК + 0,25 \times (ОЗЕ + ОМ),$$

де ОПК – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) заходу підсумкового контролю;

ОЗЕ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) заходів контролю СРС під час проведення аудиторних занять;

ОМ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) заходів контролю СРС у міжсесійний період, та застосовуються процедура, виписана у пп. 2.7–2.10 Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів.

Методика формування екзаменаційних білетів та розробки критеріїв кількісного оцінювання письмових відповідей

Згідно з Інструкцією «**Про порядок проведення та критерії оцінювання відповідей студентів під час письмових іспитів**», робоча програма дисципліни містить методику формування екзаменаційних білетів, повний перелік тем лекційних та практичних модулів з яких складаються екзаменаційні білети, критерії оцінювання відповідей, методику визначення загальної екзаменаційної оцінки.

Методика формування екзаменаційних білетів:

1. Передбачається такий порядок формування екзаменаційних білетів:
 - 1.1. Перевірка рівня знань студентів здійснюється, в першу чергу, з базової компоненти теоретичної частини навчальної дисципліни з метою оцінки вміння використовувати одержані знання в типових виробничих ситуаціях.
 - 1.2. Екзаменаційний білет формується з **тестових завдань** кількість яких дорівнює 20 по темах лекційних та практичних модулів. Один білет може містити тестові завдання різних форм (закритого та відкритого типу).
Перелік тем є складовою частиною розділу «Організація поточного, семестрового та підсумкового контролю знань» робочої програми дисципліни.
 - 1.5. Вірні відповіді по тестах зберігаються на кафедрі. Відповідальність за їх зберігання та не розповсюдження покладається особисто на завідувачів кафедр.

3.2 Перелік контролюючих заходів

Контрольні запитання по темах лекційних, практичних модулів з дисципліни «Гідрофізика»

№з/п	ЗАПИТАННЯ	ЛІТЕРАТУРА
ЗМ-Л1		
1	Короткі відомості про історію формування науки.	[1] с.5
2	Основні принципи і методи вивчення гідрофізики. Теоретичні і експериментальні дослідження. Сучасні задачі.	[1] с.5
3	Теплове забруднення річок і водоймищ. Аномальні властивості води.	[1] с.11-17
4	Теплота. Тепловий потік. Температурне поле.	[1] с.12
5	Ентальпія. Засоби передачі тепла: теплопровідність, конвекція, променистий теплообмін.	[1] с.12-13
6	Основні закономірності передачі тепла. Закон Фур'є. Закон Ньютона. Закон Стефана-Больцмана. Теплові режими.	[1] с.18-20
7	Рівняння Остроградського-Гауса. Рівняння Фур'є-Кирхгофа.	[1] с.11-12
8	Рівняння теплового балансу водних об'єктів.	[1] с.13-17
9	Визначення його складових: сумарна сонячна радіація, випромінювання атмосфери та водної маси, теплообмін з атмосферою та дном, затрати тепла на випарування, виділення теплоти при льодоутворенні тощо.	[1] с.17-19
10	Рівняння теплового балансу непроточної водойми.	[1] с.11-12
11	Стаціонарне температурне поле. Одномірне температурне поле із внутрішнім джерелом теплоти.	[1] с.18-19, 21-22
12	Двомірне температурне поле. Двомірне нестационарне температурне поле.	[1] с.24-27, 32
ЗМ-Л2		
1	Одномірне плоске тіло. Багатошарове плоске тіло.	[1] с.56-59
2	Методи вирішення рівняння Лапласа: графічний, релаксації, електротеплової аналогії.	[1] с.56
3	Вирішення рівняння теплопровідності. Метод кінцевих різниць.	[1] с.56-59
4	Вивід рівняння теплопровідності твердого тіла.	[1] с.58-59
5	Рівняння теплопровідності з джерелом теплоти.	[1] с.59-64
6	Вивід рівняння теплопровідності турбулентного	[1] с.59-60

	потоків.	
7	Умови однозначності: початкові (часові), межові, фізичні та геометричні.	[1] с.60
8	Метод аналогії. Метод емпіричних залежностей.	[1] с.60-62
9	Метод послідовного наближення. Метод розрахунку температури у водосховищі.	[1] с.56-59
10	Умови появи льоду по Л.Г.Шуляковському.	[1] с.56-60
11	Внутрішньоводний лід, умови утворення.	[1] с.62-66
12	Шуга, розрахунок витрат шуги та кількості льоду у загорі.	[1] с.60-66
13	Утворення заторів та розрахунки кількості льоду у заторі.	[1] с.60-66
14	Динамічні навантаження льоду на гідротехнічні споруди.	[1] с.93-143

Практичний модуль «Гідрофізика»

Практичний модуль 1

Тема 1- «Розрахунок температури поверхні води водойм в період, вільний від льоду».

1. Складові рівняння водно балансу?
2. Складові сумарної кількості теплоти, поглинутої водою?
3. Визначення поглинутої водою сумарної сонячної радіації?
4. Визначення поглинутої водою зустрічного випромінювання атмосфери?
5. Розрахунок температури води умовної водойми.
6. Розрахунок води водойми.

Тема 2- «Розрахунок дати початку льодоутворення на річках».

1. При якій умові починається льодоутворення на водній поверхні?
2. Як обчислюється питома тепловіддача водної поверхні?
3. Обчислення коефіцієнта тепловіддачі?

При перевірці самостійної роботи студентів заочної форми навчання в міжсесійний період використовуються *елементи дистанційної форми контролю*. У таблиці перелічені змістовні модулі згідно схеми навчальної дисципліни, порядкові номери блоків, на які змістовні модулі розбиваються та тижні згідно робочого навчального плану, на які припадає строк контролю виконання окремих блоків.

Таблиця контролю при перевірці самостійної роботи студентів заочної форми навчання в міжсесійний період з **елементами дистанційної форми навчання**

Змістовний модуль	Блок	Строк контролю
ЗМ-Л1, ЗМ-П1		
Вступ. Гідрофізика, її задачі та зв'язок з іншими дисциплінами. Короткі відомості про історію формування науки. Основні принципи і методи вивчення гідрофізики. Теоретичні і експериментальні дослідження. Сучасні задачі. Теплове забруднення річок і водоймищ. Аномальні властивості води.	1	До 01.10 4 тиждень
2. Основи теорії теплообміну. Теплота. Тепловий потік. Температурне поле. Ентальпія. Засоби передачі тепла: теплопровідність, конвекція, променистий теплообмін. Основні закономірності передачі тепла. Закон Фур'є. Закон Ньютона. Закон Стефана-Больцмана. Теплові режими.	2	До 01.11
3. Рівняння теплового балансу Рівняння Остроградського-Гауса. Рівняння Фур'є-Кирхгофа. Рівняння теплового балансу водних об'єктів. Визначення його складових: сумарна сонячна радіація, випромінювання атмосфери та водної маси, теплообмін з атмосферою та дном, затрати тепла на випарування, виділення теплоти при льодоутворенні тощо. Рівняння теплового балансу непроточної водойми.	3	До 01.12
4. Температурне поле. Стаціонарне і нестаціонарне температурне поле. Стаціонарне температурне поле. Одномірне температурне поле із внутрішнім джерелом теплоти. Двомірне температурне поле. Двомірне нестаціонарне температурне поле.	4	До 25.12
Виконання частини міжсесійної контрольної роботи. Відповідь на перші 2 питання контрольної роботи. Виконання 1,2 практичного завдання.		До 25.12
ЗМ-Л2		
5. Розрахунок температури тіла. Одномірне плоске тіло. Багатощарове плоске тіло. Методи вирішення рівняння Лапласа: графічний, релаксації, електротеплової	5	До 04.02

аналогії. Вирішення рівняння теплопровідності. Метод кінцевих різниць.		
6. Диференціальне рівняння теплопровідності. Вивід рівняння теплопровідності твердого тіла. Рівняння теплопровідності з джерелом теплоти. Вивід рівняння теплопровідності турбулентного потоку. Умови однозначності: початкові (часові), межові, фізичні та геометричні.	6	До 01.03
7. Гідротермічні розрахунки річок та водойм. Метод аналогії. Метод емпіричних залежностей. Метод послідовного наближення. Метод розрахунку температури у водосховищі.	7	До 01.04
8. Льодовотермічні розрахунки річок та водоймищ. 1. Умови появи льоду по Л.Г. Шуляковському. Внутрішньоводний лід, умови утворення. Шуга, розрахунок витрат шуги та кількості льоду у загорі. Утворення заторів та розрахунки кількості льоду у заторі. Динамічні навантаження льоду на гідротехнічні споруди.	8	До 01.05
Виконання міжсесійної контрольної роботи. Відповідь на останні 2 питання контрольної роботи. Виконання 1,2 практичного завдання.		До 15.05

3.3 Вимоги до студентів на контролюючих заходах

Критерії кількісного оцінювання письмових відповідей студентів по іспиту:

Оцінювання письмових відповідей студентів проводиться у відповідності з **«Положенням про критерії оцінки знань студентів в ОДЕКУ»**.

З даної дисципліни використовуються *екзаменаційні білети у вигляді тестових завдань*. Загальна екзаменаційна оцінка (бал успішності) дорівнює відсотку правильних відповідей із загального обсягу питань екзаменаційного білету.

Шкала переходу від оцінок за національною системою до системи
ECTS

За шкалою ECTS	За національною системою		Бал успішності (В, ПО)
	для іспиту	для заліку	
A	5 (відмінно)	зараховано	90–100
B	4 (добре)	зараховано	82–89,9
C	4 (добре)	зараховано	74–81,9
D	3 (задовільно)	зараховано	64–73,9
E	3 (задовільно)	зараховано	60–63,9
FX	2 (незадовільно)	не зараховано	35–59,9
F	2 (незадовільно)	не зараховано	1–34,9

3.4 Форма проведення консультацій викладача

Консультація викладача, який відповідає за дисципліну «Гідрофізика» проводяться протягом заліково-екзаменаційної сесії у вигляді співбесід та додаткового роз'яснення матеріалу. Консультації у міжсесійний період можна отримати у дистанційній формі по Інтернету за електронною адресою кафедри гідрології суші ОДЕКУ gidro@ogmi.farlep.odessa.ua. Інформаційний ресурс: електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com

4. Завдання і пояснення по виконанню контрольної роботи

Контрольна роботи у міжсесійний період (ВМКР) складається з відповідей на запитання *до теоретичної частини та виконання практичної частини роботи* (за вибором теми).

До виконання контрольної роботи можна приступити тільки тоді, коли є впевненість в тому, що засвоєний весь навчальний матеріал завдання, коли в процесі його вивчення пророблені усі вправи і задачі та легко надати відповіді на усі питання для самоконтролю.

Контрольна робота розробляється в декількох варіантах, причому в поясненнях до завдання є вказівки на варіант, номер варіанту є остання цифра залікової книжки. Робота, що виконана не за своїм варіантом, не ураховується. Контрольна робота повинна виконуватися студентом обов'язково самостійно.

Для того, щоб досягнути високої якості виконаних контрольних робіт, студент повинен пам'ятати вимоги, які пред'являються до виконання контрольних робіт:

1. Контрольна робота повинна бути виконана повністю, тобто треба вирішити усі задачі та приклади, надати відповіді на усі запитання, що передбачені контрольним завданням.

2. Відповіді на контрольні запитання слід викладати ясно, точно та в повному обсязі. Не можна давати відповіді типу „да” або „ні”, ні слід також переписувати у контрольні роботи текст з підручника або навчального посібника. Якщо необхідно вставляти до тексту цитати, то їх повинно узяти в лапки, при цьому обов'язково треба указати із якого літературного джерела наведена цитата (автор книги, назва, рік видання, номер сторінки).

3. При рішенні задач необхідно уважно слідити за розмірностями та одиницями вимірювань, які входять в ту або іншу формулу, та перевіряти, в яких одиницях вимірювань повинен бути одержано результат.

4. Треба указати, яким підручником студент користувався при вивченні дисципліни та при виконанні контрольної роботи.

Порядок виконання контрольної роботи:

1. Надати відповіді на теоретичні запитання контрольної роботи.

2. Виконати практичну частину контрольної роботи.

Контрольна робота виконується за номером варіанту відповідно останнього номера залікової книжки студента (1 варіант - №1,6, 2 варіант – „2, 7 і т.п.)

Варіанти до контрольних робіт наведені у додатках А.

Контрольна робота зараховується, якщо надані відповіді на контрольні запитання і виконані практичні завдання та студент отримав оцінку не менш 60% - 36 бал.

Теоретичні запитання контрольної роботи

Варіант №1

1. Закон Фур'є.
2. Типи температурної стратифікації.
3. Що таке «Початкові умови»?
4. Назвіть умови появи перших льодових явищ.

Варіант №2

1. Що таке «конвекція»? Типи конвекції.
2. Рівняння Остроградського-Гаусса.
3. Які «межові умови» ви знаєте?
4. Назвіть умови появи перших льодових явищ.

Варіант №3

1. Закон Ньютона.
2. Дайте визначення «температурне поле». Типи полів.
3. «Межові умови» від чого вони залежать?
4. Умови льодоутворення по Л.Г. Шуляковському.

Варіант №4

1. Закон Стефана-Больцмана.
2. Що таке «ентальпія»?
3. Умови льодоутворення по Л.Г. Шуляковському.
4. Умови однозначності.

Варіант № 5

1. Як оцінюється променистий теплообмін?
2. Що таке «теплота», «тепловий потік».
3. Які витратні складові входять у рівнянні теплового балансу?
4. «Межові умови» від чого вони залежать?

Варіант №6

1. Як оцінюється теплота, що виділяється при замерзанні води?
2. Дайте характеристики аномалії води при зміні її агрегатного стану.
3. Розрахунок температури води багат шарового тіла.
4. Які «межові умови» ви знаєте?

Варіант №7

1. Як оцінюється конвективний перенос тепла?
2. Що таке «інтенсивність теплового потоку»?
3. Назвіть умови появи перших льодових явищ.
4. Розрахунок температури води одно шарового тіла.

Варіант №8

1. Що являють собою «внутрішні джерела теплоти»?
2. Що таке «питомий тепловий потік»?
3. Назвіть умови появи перших льодових явищ.
4. Умови однозначності.

Варіант №9

1. Що таке «ізотерми й ізотермічні поверхні»?
2. Дайте характеристику аномалії точки замерзання.
3. Назвіть умови появи перших льодових явищ.
4. Розрахунок температури води одно шарового тіла.

Варіант №10

1. Дайте характеристику аномалії щільності води.
2. Що називається стаціонарним і нестаціонарним температурним полем?
3. Що таке «морфометричні, гідравлічні і теплофізичні» умови ?
4. Розрахунок температури води одношарового тіла.

Практична частина контрольної роботи

Завдання 1. Розрахунок теплопередачі від води до повітря крізь снігольодяний покрив

Водоймища покриті тришаровою снігольодяною товщею, що утримує шар снігу, який щойно випав, затверділого снігу та льоду (рис. 1.1)

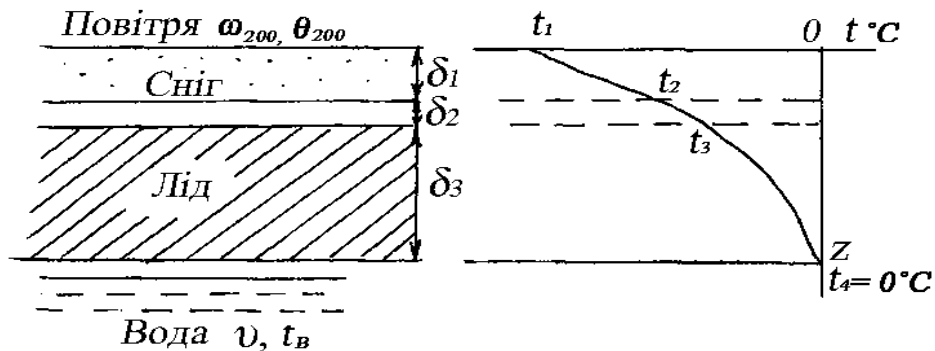


Рисунок 1.1 - Схема снігольодяної товщі та крива залежності $t = f(z)$

При припущенні, що у першій декаді січня спостерігається стаціонарний температурний режим, необхідно:

- 1) розрахувати питомий тепловий потік q крізь снігольодяну товщу;
- 2) розрахувати значення температури на границях розділу окремих шарів t_1, t_2, t_3 ;
- 3) побудувати графік розподілу температури $t = f(z)$.

Вихідні дані:

1. Товщина шару снігу, який щойно випав δ_1 , товщина шару затверділого снігу $\delta_2 = 0.05$ м, товщина льоду $\delta_3 = 0.20$ м.
2. Щільність відповідних шарів снігу: ρ_1 та $\rho_2 = 500$ кг/м³.
3. Метеорологічні дані: середньодекадні значення температури повітря θ та швидкості вітру ω на висоті 2 м у першій декаді січня.
4. Температура води під льодом $t_e = 0.5$ °C, швидкість течії $v = 0.1$ м/с.

Пояснення до завдання

Питомий тепловий потік (Вт/м^2) визначається за формулою:

$$q = \frac{t_g - \theta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1.1)$$

де t_g - температура води під льодом, $^{\circ}\text{C}$;

θ - температура повітря на висоті 2 м, $^{\circ}\text{C}$;

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від води до нижньої поверхні льоду ($\text{Вт/м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), визначається за формулою:

$$\alpha_1 = 348(1 + 6\sqrt{v}); \quad (1.2)$$

де v - середня швидкість руху води під льодом, м/с;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від снігу до повітря ($\text{Вт/м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), визначається за формулою:

$$\alpha_2 = 23.2\sqrt{\omega + 0.3}; \quad (1.3)$$

де ω - швидкість вітру на висоті 2 м, м/с;

δ_i - товщини шарів снігу та льоду, м;

λ_i - коефіцієнти теплопровідності шарів снігу та льоду, $\text{Вт/м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнти теплопровідності снігу залежать від його щільності і визначаються за формулами:

$$\lambda_{сн} = 2.85 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{сн}^2, \text{ Вт/м } \cdot ^{\circ}\text{C} \quad \text{при } \rho_{сн} < 350 \text{ кг/м}^3, \quad (1.4)$$

де $\rho_{сн}$ - щільність снігу;

$$\lambda_{сн} = 3.56 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{сн}^2, \text{ Вт/м } \cdot ^{\circ}\text{C} \quad \text{при } \rho_{сн} > 350 \text{ кг/м}^3. \quad (1.5)$$

Значення коефіцієнта теплопровідності льоду - $\lambda_l = 2.24 \text{ Вт/м } \cdot ^{\circ}\text{C}$.

При розрахунку температур на межах розділу шарів треба мати на увазі, що при стаціонарному температурному режимі теплові потоки в окремих шарах рівні між собою та дорівнюють значенню q , тобто $q_1 = q_2 = q_3 = q$. Треба також мати на увазі, що температура води на границі розділу вода-лід дорівнює $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначаючи питомий тепловий потік крізь шар льоду за законом Фур'є, можна розрахувати температури на межі між шарами товщі за формулою:

$$t_n = t_1 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right). \quad (1.6)$$

За результатами розрахунку будується графік розподілу температури по товщині снігольодяного покриву.

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

1. Товщина шару снігу $\delta_1 = 0.07$ м, товщина шару затверділого снігу $\delta_2 = 0.05$ м, товщина льоду $\delta_3 = 0.20$ м.
2. Щільність відповідних шарів снігу $\rho_1 = 220$ кг/м³, $\rho_2 = 500$ кг/м³.
3. Метеорологічні дані: $\theta = -22$ °С; $\omega = 4.0$ м/с.
4. Температура води під льодом $t_g = 0.5$ °С.
5. Швидкість течії $v = 0.1$ м/с.

Порядок виконання

1. Обчислюємо коефіцієнт тепловіддачі від води до нижньої поверхні льоду за формулою (1.2):

$$\alpha_1 = 348(1 + 6\sqrt{0.1}) = 1008 \text{ Вт/м}^2 \text{ °С}.$$

2. Обчислюємо коефіцієнт тепловіддачі від снігу до повітря за формулою (1.3):

$$\alpha_2 = 23.2\sqrt{4 + 0.3} = 48.1 \text{ Вт/м}^2 \text{ °С}.$$

3. Коефіцієнти теплопровідності снігу визначаються за формулами (1.4) та (1.5):

$$\lambda_1 = 2.85 \cdot 10^{-6} \cdot (220)^2 = 0.14 \text{ Вт/м °С},$$

$$\lambda_2 = 3.56 \cdot 10^{-6} \cdot (500)^2 = 0.89 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}.$$

4. За формулою (1.1) визначаємо питомий тепловий потік:

$$q = \frac{0.5 - (-22)}{\frac{1}{1008} + \frac{1}{48.1} + \frac{0.07}{0.14} + \frac{0.05}{0.89} + \frac{0.20}{2.24}} = 34.1 \text{ Вт/м}^2.$$

5. Тепловий потік надходить з водної маси до нижньої поверхні льоду, тому розрахунок температури на межі між шарами снігольодяної товщі виконується за формулами:

$$t_3 = t_4 - q \frac{\delta_3}{\lambda_3},$$

$$t_2 = t_4 - q \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right),$$

$$t_1 = t_4 - q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right),$$

$$t_3 = 0.5 - 34.1 \cdot \frac{0.20}{2.24} = -2.5 \text{ °С}$$

$$t_2 = 0.5 - 34.1 \left(\frac{0.05}{0.89} + \frac{0.20}{2.24} \right) = -4.3 \text{ °С}$$

$$t_1 = 0.5 - 34.1 \left(\frac{0.07}{0.14} + \frac{0.05}{0.89} + \frac{0.20}{2.24} \right) = -21.7 \text{ °С}$$

6. За результатами розрахунку температур будується графік розподілу їх по товщині снігольодяної товщі (рис. 1.1).

Література

1. Винников С.Д., Проскураков В.В. Гидрофизика. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 248 с.

2. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу “Гідрофізика” для студентів-гідрологів 4 курсу заочного факультету. – Одеса, ОГМІ, 1998. – 14 с.

Завдання 2. Розрахунок розподілу температури води по глибині під льодом слабопроточного водосховища

Рівняння теплопровідності одномірного температурного поля при нестационарному режимі має вигляд [2]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}. \quad (2.1)$$

Простим методом рішення цього рівняння є метод кінцевих різниць. Рівняння (2.1) у кінцевих різницях записується так:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = a_T \frac{\Delta^2 t}{\Delta z^2}, \quad (2.2)$$

де Δt - зміна температури на рівні z за інтервалом часу $\tau_{i+1} - \tau_i = \Delta \tau$;

a_T - коефіцієнт турбулентної теплопровідності;

$\frac{\Delta^2 t}{\Delta z^2}$ - друга похідна температури по глибині z у момент часу τ_i .

При вирішенні конкретної задачі повинні бути задані:

1) початкові умови – розподіл температури по глибині у початковий момент часу: при $\tau = 0$; $t = f_1(z)$;

2) межові умови – значення температури на поверхні ($z=0$) у різні інтервали часу: при $z=0$; $t = f_2(z)$;

3) глибина водойми (одномірна задача);

4) значення коефіцієнта турбулентної теплопровідності - a .

Значення похідних температури у (2.2) зазначаються такими співвідношеннями:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{t_{z, \tau_{i+1}} - t_{z, \tau_i}}{\Delta \tau}; \quad (2.3)$$

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta z^2} = \frac{\left| \frac{\Delta t}{\Delta z} \right|_{II} - \left| \frac{\Delta t}{\Delta z} \right|_I}{\Delta z} = \frac{\left[\frac{t_{(z-\Delta z), \tau} - t_{z, \tau_i}}{\Delta z} \right] - \left[\frac{t_{z, \tau_i} - t_{(z-\Delta z), \tau_i}}{\Delta z} \right]}{\Delta z}, \quad (2.4)$$

де t_{z, τ_i} та $t_{z, \tau_{i+1}}$ - температура на рівні z у момент часу τ_i та τ_{i+1} ;

$t_{z-\Delta z}$ та $t_{z+\Delta z}$ - температура на рівні $z - \Delta z$ та $z + \Delta z$ у момент часу τ_i .

Якщо інтервали глибин Δz рівні, рівняння (2.4) набуває вигляду:

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta z^2} = \frac{t_{(z+\Delta z), \tau_i} - 2t_{z, \tau_i} + t_{(z-\Delta z), \tau_i}}{\Delta z}. \quad (2.5)$$

Підставивши (2.3) та (2.4) в (2.2), маємо:

$$\frac{t_{z, \tau_{i+1}} - t_{z, \tau_i}}{\Delta t} = \frac{2a_T \Delta \tau}{\Delta z^2} \left(\frac{t_{(z+\Delta z), \tau_i} + t_{(z-\Delta z), \tau_i}}{2} - t_{z, \tau_i} \right) - t_{z, \tau_i}; \quad (2.6)$$

$$t_{z, \tau_{i+1}} = \frac{2a_T \Delta \tau}{\Delta z^2} \left(\frac{t_{(z+\Delta z), \tau_i} + t_{(z-\Delta z), \tau_i}}{2} - t_{z, \tau_i} \right) - t_{z, \tau_i}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт $\frac{2a_T \Delta \tau}{\Delta z^2}$ можна підібрати, змінюючи $\Delta \tau$ і Δz так, щоб він дорівнював одиниці (умова Шмідта), тоді

$$t_{z, \tau_{i+1}} = \frac{t_{(z+\Delta z), \tau_i} + t_{(z-\Delta z), \tau_i}}{2}. \quad (2.8)$$

Після інтенсивного вітрового перемішування води у водосховищі почалось його замерзання. О сьомій годині 1 грудня спостерігався розподіл температури, зображений на рис. 2.1 (крива 1). Треба розрахувати, через скільки годин (дів) встановлюється стаціонарний режим, тобто лінійний розподіл температури (рис. 2.1, крива 2).

Побудувати графіки розподілу температури по глибині $t = f(z)$ за окремі моменти часу.

Вихідні дані:

1. Глибина водосховища H , ширина поперечного перерізу B , витрата води Q .

2. Початкова температура води t_n у момент замерзання τ_0 .

3. Теплообмін водної маси з дном $q_{дн}$.

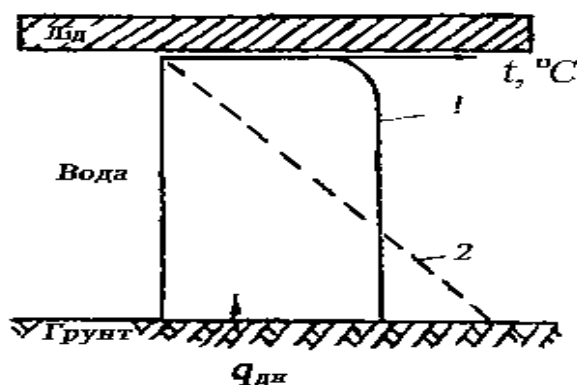


Рисунок 2.1 – Початковий (1) та розрахунковий (2) розподіл температури за глибиною водосховища

Пояснення до завдання

Коефіцієнт турбулентної теплопровідності λ визначається за формулою К.І. Росінського [1]:

$$\lambda_T = 1.16\sqrt{0.1q^2 + 0.521H^3} + 0.5, \quad (2.9)$$

де q - питома витрата води, м³/год;
 H - глибина водосховища, м;

$$q = \frac{Q}{B}, \quad (2.10)$$

де Q - витрата води, м³/с;
 B - ширина, м.

Коефіцієнт турбулентної температуропровідності розраховується по відношенню:

$$a_T = \frac{\lambda_T}{C \cdot \rho}, \quad (2.11)$$

де C та ρ - відповідно питома теплоємність та густина води.

Далі необхідно визначити, на яких глибинах і для якого часу буде виконуватись розрахунок температури води. Інтервал глибин $\Delta z = 1$ м задається для глибини водосховища 4-5 м, $\Delta z = 2$ м – для більших глибин.

Використовуючи умови Шмідта [1]

$$\frac{2a\Delta\tau}{\Delta z^2} = 1, \quad (2.12)$$

розраховуємо інтервали часу $\Delta\tau$.

Тепер необхідно записати межові умови. На поверхні розділу вода-лід температура води стала і дорівнює $0\text{ }^\circ\text{C}$ (межові умови першого роду):

$$t|_{z=0} = 0\text{ }^\circ\text{C} \quad (2.13)$$

На нижній межі (на дні) задається густина теплового потоку від ґрунту до водної маси $q_{\partial n}$. Це межові умови другого роду

$$q_{\partial n} = \lambda_T \left. \frac{\Delta t}{\Delta z} \right|_{z=H}, \quad (2.14)$$

де $\frac{\Delta t}{\Delta z}$ - градієнт температури води у придонному шарі. Якщо

$$\Delta t = t|_{z=H} - t|_{z=H-\Delta z}, \quad (2.15)$$

то маємо температуру води на дні водойми

$$t|_{z=H} = t|_{z=H-\Delta z} + \frac{q_{\partial n}}{\lambda_T} \Delta z. \quad (2.16)$$

У цьому відношенні $t|_{z=H-\Delta z}$ - температура води на глибині $H - \Delta z$, яка розраховується за формулою (2.8).

Розрахунок температури води треба виконувати одночасно на заданих глибинах Δz , $2\Delta z$ і т.д. і у визначні моменти часу τ_0 , $\tau_0 + \Delta\tau$, $\tau_0 + 2\Delta\tau$ тощо, де τ_0 - початковий момент часу (сьома година 1 грудня). Розрахунки виконуються у табл. 2.1.

За результатами розрахунків будуються графіки розподілу температури води по глибині $t = f(z)$ для окремих моментів часу.

Таблиця 2.1 – Розрахунок температури води за методом кінцевих різниць

z	τ		
	τ ₀	τ ₀ + Δτ	τ ₀ + 2Δτ
0			
Δz			
2 Δz			
3 Δz			
...			
H			

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

$H=5$ м; $B=250$ м; $Q=30$ м³/с; $t_n=1.4$ °С; $q_{\partial H}=30$ Вт/м².

Порядок виконання

1. Коефіцієнт турбулентної теплопровідності:

$$\lambda_T = 1.16\sqrt{0.1 \cdot 432^2 + 0.521 \cdot 5^3} + 0.5 = 159 \text{ Вт/м}^2,$$

де $q = \frac{30}{250} = 0.12 \text{ м}^2/\text{с} = 432 \text{ м}^2/\text{ГОД}$.

2. Коефіцієнт турбулентної температуропровідності:

$$a = \frac{159}{4.2 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 37.9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

де $C=4.2 \cdot 10^3$ Дж/кг · °С ; $\rho=1000$ кг/м³.

3. $\Delta z=1$ м, $\Delta t = \frac{1}{2 \cdot 37.9 \cdot 10^{-6}} \approx 4$ год.

4. Температура води на поверхні розділу вода-лід дорівнює 0 °С, а на глибині 5 м дорівнює:

$$t|_{z=5} = t|_{z=4} + \frac{30}{159} \cdot 1 = 1.4^\circ + 0.2^\circ.$$

5. За результатами розрахунків (табл. 2.2) будуються графіки розподілу температури води по глибині $t = f(z)$ для окремих моментів часу (рис. 2.2)

Таблиця 2.2 - Розрахунок температури води

z	τ					
	τ_0	1.XII-11 г.	1.XII-15 г.	1.XII-19 г.	1.XII-23 г.	2.XII-3 г.
0	0	0	0	0	0	0
Δz	1.4	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
$2\Delta z$	1.4	1.4	1.1	1.1	1.0	1.0
$3\Delta z$	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4
$4\Delta z$	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7
H	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9

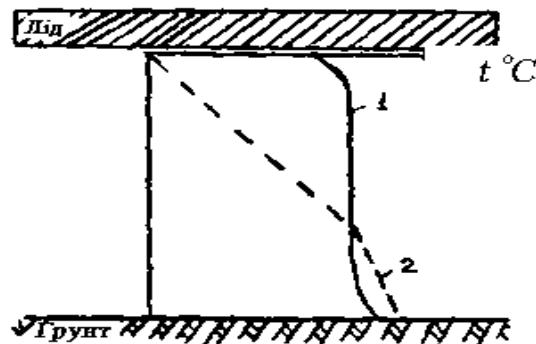


Рисунок 2.2 - Початковий (1) та розрахунковий (2) розподіл температури за глибиною водосховища

Під льодом стаціонарний режим буде спостерігатися 2 грудня о 3 годині.

Література

1. Винников С.Д., Проскуряков В.В. Гидрофизика. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 248 с.
2. Гопченко Є.Д., Крес Л.Є. Теплообмін у водних об'єктах. – Одеса, 1997. – 103 с.

Завдання 3. Розрахунок довжини ополонки

В період льодоставу на річках можуть зберігатися відкриті простори води серед льодяного покриву, так звані ополонки. Вони утворюються під дією динамічних та термічних факторів.

Ополонки динамічного походження виникають на порогах, стремнинах та в нижніх б'єфах ГЕС. Вони можуть зберігатися протягом усієї зими і є осередками шуги, яка заноситься під лід та спричиняє утворення зажорів.

Ополонки термічного утворення виникають у місцях виходу теплих ґрунтових та промислових вод, у нижніх б'єфах гребель ГЕС та верхів'ях річок, що витікають з озер та водосховищ внаслідок притоку тепліших вод.

При роботі ГЕС вода з водосховища скидається у нижній б'єф. У зимових умовах утворюється ополонка. Треба розрахувати довжину цієї ополонки (рис. 3.1).

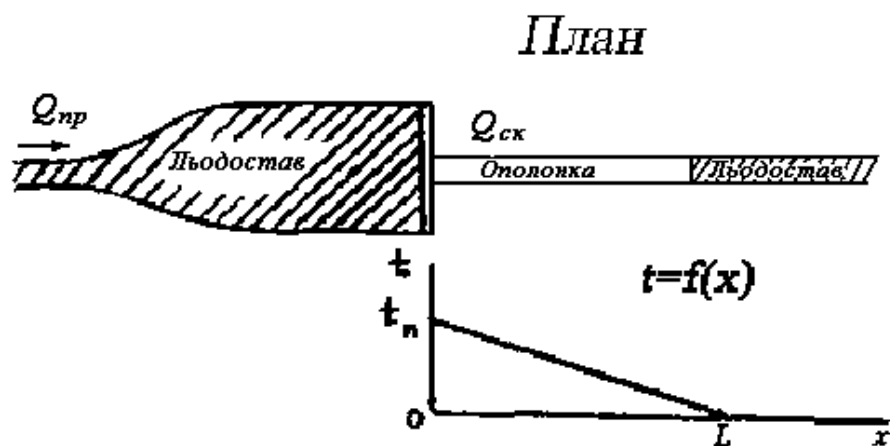


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку довжини ополонки

Вихідні дані:

1. Місцеположення водосховища (φ° півн. ш.) та розрахунковий період – перша декада січня.
2. Витрата та температура води, яка скидається, відповідно Q та t_g .
3. Ширина річки у нижньому б'єфі $b = 0.1B$; B - ширина річки.
4. Метеорологічні дані: температура та парціальний тиск водяної пари повітря, відповідно t_{200} та e_{200} , швидкість вітру ω_{200} , загальна хмарність N_3 , нижньої хмарності немає.

Пояснення до завдання

Довжина ополонки розраховується за рівнянням теплового балансу [1]:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{\sum_1^n S}{C \cdot \rho \cdot q_v}, \quad (3.1)$$

де q_v - питома витрата води, м³/год,

$$q_v = \frac{Q}{b}; \quad (3.2)$$

C - питома теплоємність, $4.2 \cdot 10^3$ Дж/кг·с;

ρ - густина води, 1000 кг/м³;

$\sum_1^n S$ - теплообмін водної поверхні з атмосферою, Вт/м², що складається з радіаційного балансу, тепловіддачі на випаровування та конвективного теплообміну.

Розрахунок теплових потоків $\sum_1^n S$ (теповіддача) виконується за формулами [2]:

1. Радіаційний баланс обчислюється за формулою П.П. Кузьміна:

$$R = (S_{np} + S_{pp})_o (1 - A) C' - S_{ef}, \quad (3.3)$$

де $(S_{np} + S_{pp})_o$ - пряма та розсіяна сонячна радіація при безхмарному небі, визначається за табл. 3.1;

A - коефіцієнт відбиття або альbedo підстильної поверхні, визначається за табл. 3.2.

C' - поправка на хмарність, визначається за формулою:

$$C' = (1 - 0.14N_z - 0.53N_n), \quad (3.4)$$

де N_z , N_n - відповідно загальна та нижня хмарність в долях від одиниці

Таблиця 3.1 – Сумарна сонячна радіація $(S_{np} + S_{pp})_o$ при альбедо $A=0$
в залежності від широти місцевості

Широта, ° п.ш.	Місяць											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
40	114	160	220	280	317	330	320	287	236	178	126	101
42	104	151	213	276	316	331	320	285	230	169	116	92
44	94	142	205	271	315	333	320	283	224	160	107	81
46	85	131	197	266	314	333	320	279	217	151	98	72
48	74	122	188	260	312	334	320	276	211	143	87	63
50	65	112	179	255	311	334	319	272	204	134	78	55
52	55	102	170	249	307	333	317	267	197	124	66	45
54	45	92	162	243	305	333	316	263	188	115	59	37
56	36	84	152	237	301	333	314	258	180	106	51	29
58	27	73	143	230	299	333	313	254	172	97	43	22
60	19	64	134	222	297	333	313	249	164	87	35	15

Таблиця 3.2 – Значення середнього за добу альбедо водної поверхні A

Місяць	Хмарність		Градуси південної широти		
	N_z	N_H	40	50	60
1	2	3	4	5	6
I	0	0	0.13	0.20	0.27
	5	0	0.12	0.17	0.24
	5	5	0.13	0.18	0.25
	10	0	0.08	0.09	0.09
	10	5	0.08	0.09	0.09
	10	10	0.08	0.08	0.08
II	0	0	0.09	0.12	0.19
	5	0	0.08	0.11	0.17
	5	5	0.09	0.11	0.19
	10	0	0.08	0.09	0.09
	10	5	0.08	0.08	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
III	0	0	0.06	0.08	0.11
	5	0	0.06	0.08	0.11
	5	5	0.07	0.08	0.12
	10	0	0.07	0.08	0.09
	10	5	0.08	0.08	0.08

Продовження таблиці 3.2

Місяць	Хмарність		Градуси південної широти		
	N_3	N_H	40	50	60
1	2	3	4	5	6
	10	10	0.08	0.08	0.08
IV	0	0	0.05	0.06	0.08
	5	0	0.06	0.06	0.08
	5	5	0.06	0.07	0.09
	10	0	0.06	0.07	0.08
	10	5	0.07	0.07	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
V	0	0	0.05	0.05	0.07
	5	0	0.05	0.06	0.07
	5	5	0.05	0.06	0.07
	10	0	0.06	0.06	0.07
	10	5	0.06	0.07	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
VI	0	0	0.05	0.05	0.07
	5	0	0.05	0.06	0.07
	5	5	0.05	0.06	0.07
	10	0	0.06	0.06	0.07
	10	5	0.06	0.07	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
VII	0	0	0.05	0.05	0.07
	5	0	0.05	0.06	0.07
	5	5	0.05	0.06	0.07
	10	0	0.06	0.06	0.07
	10	5	0.06	0.07	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
VIII	0	0	0.05	0.06	0.07
	5	0	0.05	0.06	0.07
	5	5	0.05	0.06	0.07
	10	0	0.06	0.06	0.07
	10	5	0.06	0.07	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
IX	0	0	0.06	0.07	0.10
	5	0	0.06	0.07	0.09
	5	5	0.06	0.07	0.09
	10	0	0.07	0.08	0.08
	10	5	0.07	0.08	0.08

Продовження таблиці 3.2

Місяць	Хмарність		Градуси південної широти		
	N_3	N_H	40	50	60
1	2	3	4	5	6
	10	10	0.08	0.08	0.08
X	0	0	0.08	0.10	0.14
	5	0	0.08	0.09	0.12
	5	5	0.08	0.09	0.13
	10	0	0.08	0.08	0.08
	10	5	0.08	0.08	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08
XI	0	0	0.11	0.17	0.26
	5	0	0.10	0.15	0.22
	5	5	0.11	0.16	0.24
	10	0	0.09	0.09	0.09
	10	5	0.08	0.09	0.09
	10	10	0.08	0.08	0.08
XII	0	0	0.13	0.20	0.26
	5	0	0.12	0.16	0.22
	5	5	0.12	0.18	0.26
	10	0	0.08	0.08	0.09
	10	5	0.08	0.08	0.08
	10	10	0.08	0.08	0.08

S_{ef} - ефективне випромінювання визначається за формулою:

$$S_{ef} = \varepsilon\sigma T_n^4 - (0.62 + 0.05\sqrt{e_{200}})(1 + 0.12N_3 + 0.12N_H)\varepsilon\sigma T_{200}^4, \quad (3.5)$$

де ε - відносна випромінююча здатність довгохвильової радіації (для води $\varepsilon=1.0$, для снігу $\varepsilon=0.99$, для льоду $\varepsilon=0.95$);

σ - стала Стефана-Больцмана;

T_n та T_{200} - абсолютна температура підстильної поверхні та температура повітря на висоті 200 см над підстильною поверхнею;

σT^4 - визначається за таблицею 3.3;

e_{200} - абсолютна вологість повітря на висоті 200 см;

Таблиця 3.3 - Значення σT^4 , Вт/м² (позитивна температура)

Темпе- ратура, °C	Десяті частки градуса									
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	321	321	322	322	322	323	323	323	324	324
1	324	326	326	326	327	327	328	328	329	329
2	330	330	330	331	333	333	334	334	334	335
3	335	335	336	336	336	337	337	338	338	340
4	340	340	341	341	341	342	342	343	344	344
5	344	344	345	345	345	347	347	348	348	349
6	349	350	350	351	351	351	352	352	353	354
7	355	355	356	356	357	358	358	358	359	359
8	359	361	361	362	363	363	363	363	363	364
9	365	365	366	366	366	367	368	369	370	370
10	370	371	371	372	372	373	374	374	374	375
11	376	377	377	377	378	379	379	379	380	380
12	381	382	383	383	384	384	385	385	386	386
13	386	387	387	388	388	389	390	391	391	391
14	392	392	393	393	393	394	394	395	396	397
15	397	397	398	398	399	399	400	401	401	401
16	402	403	404	404	405	405	406	406	407	407
17	408	408	409	411	411	412	412	412	413	413
18	414	414	415	416	417	418	418	418	419	419
19	420	420	421	421	422	422	422	423	424	424
20	426	426	426	427	428	428	428	429	429	430
21	430	431	432	433	433	434	434	435	435	436
22	437	437	438	439	440	441	441	442	442	443
23	443	443	444	445	445	446	447	448	448	449
24	449	450	450	451	452	452	452	453	454	455
25	455	456	457	457	458	458	459	459	460	461
26	462	462	463	463	464	464	465	465	466	466
27	467	468	469	470	470	471	471	472	472	473
28	473	474	475	476	477	477	477	478	478	478
29	479	480	481	482	483	484	484	485	485	486

Продовження таблиці 3.3
(негативна температура)

Темпе- ратура, °С	Десяті частки градуса									
	0	- 0.1	- 0.2	- 0.3	- 0.4	- 0.5	- 0.6	- 0.7	- 0.8	- 0.9
- 0	318	317	316	316	316	315	314	314	313	313
- 1	313	313	312	312	312	311	310	310	309	309
- 2	308	308	307	307	306	306	306	306	305	305
- 3	304	304	303	302	302	302	301	301	300	300
- 4	299	298	298	298	298	297	297	296	296	295
- 5	295	294	294	294	293	293	292	292	292	292
- 6	290	290	290	289	289	289	288	288	287	287
- 7	286	286	286	285	285	284	284	283	283	282
- 8	282	282	281	281	280	280	279	279	278	278
- 9	278	277	277	276	276	276	276	275	275	274
- 10	274	273	273	272	272	272	271	271	270	270

2. Втрата теплоти на випаровування обчислюється за формулою В.А. Римши та Р.В. Донченко:

$$S_e = 2.95(e_o - e_{200})(K + \omega_{200}), \quad (3.6)$$

де e_o - максимальна пружність водяної пари при температурі поверхні, визначається за табл. 3.4;

e_{200} та ω_{200} - відповідно абсолютна вологість та швидкість вітру на висоті 200 см;

K - коефіцієнт, що залежить від різниці температур води та повітря Δt (табл. 3.5).

Таблиця 3.4 – Максимальна пружність водяної пари e_o

Температура во- ди, °С	e_o , мбар	Температура во- ди, °С	e_o , мбар
0	6.1	17	19
2	7.1	20	23
5	8.7	22	26
7	10.0	25	32
10	12	27	36
12	14	30	42

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнта K

Δt	K	Δt	K	Δt	K	Δt	K
0	1.28	4	2.10	12	3.33	30	4.35
1	1.54	5	2.56	15	3.56	40	4.60
2	1.80	8	2.80	20	3.84		
3	2.10	10	3.08	25	4.10		

3. Конвективний теплообмін обчислюється за формулою В.А. Римши та Р.В. Донченко:

$$S_k = 1.89(t_{нов} - t_{200})(K + \omega_{200}), \quad (3.7)$$

де $t_{нов}$ та t_{200} - відповідно температура поверхні води та повітря на висоті 200 см.

У зимових умовах усі складники мають від'ємний знак – відбувається тепловіддача від водної поверхні в атмосферу. Тому температура води по довжині ополонки буде знижуватись і на відстані L від греблі буде дорівнювати 0°C . Таким чином, довжина ополонки L дорівнює довжині Δx , де відбувається зниження температури на $\Delta t = 0 - t_n$, де t_n - початкова температура води.

До розрахункових формул входить температура поверхні води $t_{нов}$ та тиск насиченої водяної пари e_o , що залежить від $t_{нов}$. Це значно ускладнює розрахунок, але в зв'язку з тим, що діапазон змінення температури води Δt малий, за температуру поверхні води $t_{нов}$ можна прийняти сталі значення, яке дорівнює середньому значенню температури на ділянці Δx :

$$t_{сер} = \frac{t_n + 0}{2} = 0.5t_n. \quad (3.8)$$

Довжина ополонки обчислюється за формулою:

$$\Delta x = \frac{\Delta t \cdot C \cdot \rho \cdot q_{\epsilon}}{\sum_1^n S}. \quad (3.9)$$

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

1. Місцезположення водосховища $\varphi=50^\circ$ півн. ш., розрахунковий період – перша декада січня.

2. Витрата води $Q = 30 \text{ м}^3/\text{с}$, початкова температура води $t_n = 1.4^\circ$.
3. Ширина річки – 250 м.
4. Ширина річки у нижньому б'єфі $b = 0.1 B = 0.1 \cdot 250 = 25 \text{ м}$.
5. Метеорологічні дані: $t_{200} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$, $e_{200} = 0.8 \text{ мб}$, $\varpi_{200} = 4.0 \text{ м/с}$, $N_3 = 1.0$, нижньої хмарності немає.

Порядок виконання

1. За формулою (3.2) обчислюємо питому витрату води:

$$q_e = \frac{30}{25} = 1.2 \text{ м/с}^2.$$

2. За формулою (3.8) обчислюємо температуру поверхні води:

$$t_{нов} = \frac{1.4 + 0}{2} = 0.7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Зниження температури:

$$\Delta t = 0^\circ - 1.4^\circ = -1.4^\circ.$$

4. Розрахунок теплових потоків:

- а) за формулою (3.3)

$$R = 65(1 - 0.09) \cdot (1 - 0.14 \cdot 1.0) - 323 + (0.62 + 0.05\sqrt{0.8}) \times \\ \times (1 + 0.12 \cdot 1) \cdot 226 = -105 \text{ Вт/м}^2;$$

- б) за формулою (3.6):

$$S_g = 2.95(6.55 - 0.8)(3.9 + 4.0) = -134 \text{ Вт/м}^2;$$

- в) за формулою (3.7)

$$S_k = 1.89 \cdot [0.7 - (-22)] \cdot (0.39 + 4.0) = -339 \text{ Вт/м}^2;$$

- г) $\sum S = R + S_g + S_k = -578 \text{ Вт/м}^2$.

5. Довжина ополонки за формулою (3.9) дорівнює:

$$\Delta x = \frac{(-1.4) \cdot 4.2 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot 1.2}{-578} = 12.2 \text{ км.}$$

Література

1. Винников С.Д., Проскураков Б.В. Гидрофизика. – Л: Гидрометеиздат, 1988. – 248 с.
2. Гопченко Є.Д., Крес Л.Є. Теплообмін у водних об'єктах. Одеса, 1997 – 103 с.
3. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. – Л: Гидрометеиздат, 1983. 176 с.

Завдання 4. Розрахунок наростання товщини льоду

Після встановлення льодоставу нарощення льоду на водоймі залежить від потоків теплоти, яка витрачається, виходячи крізь лід в атмосферу та приходить знизу з водної товщі. Якщо потік теплоти з води до підльодяної поверхні буде меншим за потік теплоти крізь лід в атмосферу, спостерігається нарощення льоду. Найінтенсивніше лід нарощується в перші дві-три декади після встановлення льодоставу. У цей час лід та сніг на ньому мають незначну товщу і можуть пропускати тепловий потік, який значно перевищує потік теплоти з водної товщі до нижньої поверхні льоду. У наступні часи наростання льоду поступово зменшується. Чим вище тепловіддача дна водойми, тим лід тонший. У місцях виходу теплої води тепловіддача зростає, що може перевищити тепловий потік крізь лід в атмосферу, і тому виникають ополонки.

Протягом зими лід деформується, pojawiaються тріщини. Термічні тріщини виникають при різких добових змінах температури поверхневих шарів льоду, якщо на ньому відсутній сніг, а також під дією вітру – динамічні тріщини. Лід на водоймах має шарову будову. На поверхні води лежить водний кристалічний найпрозоріший лід, на якому при виході води тріщинами з проталою водою утворюється мутно-білий малої прозорості водно-сніговий лід. При таненні та подальшому замерзанні на льоду та снігу виникає сніговий лід.

Товщина льоду у водоймах залежить від гідрометеорологічних умов зими, розмірів водойм, характеру берегової лінії.

Утворення льоду на водоймі почалося 1 грудня. Розрахувати товщину льоду наприкінці грудня, якщо біля берега лід укритий снігом.

Вихідні дані:

1. Меторологічні дані: середньодекадні значення температури повітря θ_{200} та швидкість вітру ω_{200} за першу декаду грудня; протягом двох наступних декад температура повітря знижувалась за градієнтом $0.8\text{ }^\circ\text{C}$ за добу, а швидкість вітру не змінювалась.

2. Дані щодо висоти та щільності снігу на льоду біля берега: у першу декаду снігу не було; у другу декаду $h_{сн}=0.08\text{ м}$; у третю $h_{сн}=0.12\text{ м}$; щільність снігу дорівнює ρ_1 .

Пояснення до завдання

Для розрахунку товщини льоду використовуються такі формули [1]:

$$h_l = -A + \sqrt{(A + h_{l_0})^2 - \frac{2\theta_{200}\lambda}{L_{кр} \cdot \rho_l}(\tau - \tau_0)}. \quad (4.1)$$

Якщо снігу немає

$$h_l = -\frac{\lambda_l}{\alpha_l} + \sqrt{\left(\frac{\lambda_l}{\alpha_l}\right)^2 + h_{l_0}^2 + 2h_{l_0} \frac{\lambda_l}{\alpha_l} - \frac{2\theta_{200}\lambda_l}{L_{кр} \cdot \rho_l}(\tau - \tau_0)}, \quad (4.2)$$

де

$$A = \frac{\lambda_l}{\alpha_{сн}} + h_{сн} \frac{\lambda_l}{\lambda_{сн}}; \quad (4.3)$$

де λ_l - коефіцієнт теплопровідності льоду, дорівнює $2.24\text{ Вт/м }^\circ\text{C}$;

α_l - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні льоду до повітря (при відсутності снігу на льоду), $\text{Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$:

$$\alpha_l = 5.8\sqrt{\omega_{200} + 0.3}, \quad (4.4)$$

де ω_{200} - швидкість вітру;

$\alpha_{сн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні снігу до повітря, $\text{Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}$:

$$\alpha_{сн} = 23.2\sqrt{\omega_{200} + 0.3}; \quad (4.5)$$

h_{l_0} - початкова товщина льоду (на початок розрахункового періоду τ_0), м;

$L_{кр}$ - питома теплота кристалізації, $L_{кр}=33.3 \cdot 10^4\text{ Дж/кг}$;

$\lambda_{сн}$ - коефіцієнт теплопровідності снігу, визначається за формулами:

- при $\rho \leq 350$ кг/м³

$$\lambda_{сн} = 2.85 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{сн}^2 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}; \quad (4.6)$$

- при $\rho > 350$ кг/м³

$$\lambda_{сн} = 3.56 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{сн}^2 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}; \quad (4.7)$$

$\rho_{сн}$ - щільність снігу, кг/м³;

θ_{200} - середньодекадні значення температури повітря;

$h_{сн}$ - висота снігу, м;

$\rho_{л}$ - щільність льоду, кг/м³.

Розрахунок виконується по декадних інтервалах часу, що дозволяє розрахувати товщини льоду на кінець кожної декади. Для першої декади $h_{л_0}$ дорівнює нулю. Для наступних декад за початкову товщину льоду береться значення товщини льоду, розраховане на кінець попередньої декади.

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

1. Метеорологічні дані: $\theta_{200} = -9$ °C; $\omega_{200} = 5.0$ м/с.

2. I декада – $h_{сн} = 0$; II декада – $h_{сн} = 0.08$ м; III декада – $h_{сн} = 0.12$ м;
 $\rho_{сн} = 240$ кг/м³; $\lambda_{л} = 2.24$ Вт/м °C; $L_{кр} = 33.3 \cdot 10^4$ Дж/кг; $L_{кр} = 33.3 \cdot 10^4$ Дж/кг;
 $\rho_{л} = 917$ кг/м³.

3. Для першої декади $h_{л_0} = 0$.

Порядок виконання

1. За формулою (4.4) коефіцієнт тепловіддачі від поверхні льоду до повітря (при відсутності снігу на льоду):

$$\alpha_{л} = 5.8 \sqrt{5.0 + 0.3} = 13.4 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

2. За формулою (4.5) коефіцієнт тепловіддачі від поверхні снігу до повітря:

$$\alpha_{сн} = 23.2\sqrt{5.0+0.3} = 53.4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

3. За формулою (4.2) товщина льоду на кінець I декади:

$$h_{л I} = -\frac{2.24}{13.4} + \sqrt{\left(\frac{2.24}{13.4}\right)^2 + 0 + 0 - \frac{2 \cdot (-9) \cdot 2.24}{33.3 \cdot 10^4 \cdot 917} \cdot 10 \cdot 86400} = 0.20 \text{ м.}$$

4. За формулою (4.6):

$$\lambda_{сн} = 2.85 \cdot 10^{-6} \cdot (240)^2 = 0.16 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$$

5. За формулою (4.3) параметр A для II декади:

$$A = \frac{2.24}{53.4} + 0.08 \frac{2.24}{0.16} = 1.13.$$

6. За формулою (4.1) товщина льоду на кінець II декади при $\theta_{200} = -9^\circ - 8^\circ = -17^\circ$:

$$h_{л II} = -1.13 + \sqrt{(1.13 + 0.20)^2 - \frac{2 \cdot (-17) \cdot 2.24}{33.3 \cdot 10^4 \cdot 917} \cdot 10 \cdot 86400} = 0.28 \text{ м.}$$

7. За формулою (4.3) параметр A для III декади:

$$A = \frac{2.24}{53.4} + 0.12 \frac{2.24}{0.16} = 1.68.$$

8. За формулою (4.1) товщина льоду на кінець III декади при $\theta_{200} = -17^\circ - 8.8^\circ = -25.8^\circ \text{°C}$:

$$h_{л III} = -1.68 + \sqrt{(1.68 + 0.20)^2 - \frac{2 \cdot (-25.8) \cdot 2.24}{33.3 \cdot 10^4 \cdot 917} \cdot 10 \cdot 86400} = 0.37 \text{ м.}$$

Література

1. Винников С.Д., Проскуряков Б.В. Гидрофизика. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. - 248 с.
2. Мишон В.М. Практическая гидрофизика. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 176 с.

Перелік питань для самоконтролю

1. В чому полягає фізична основа теплового балансу?
2. Назвіть основні складники рівняння теплового балансу.
3. Що таке “радіаційний баланс”?
4. Що таке “ефективне випромінювання”?
5. Як визначаються складники рівняння теплового балансу?
6. При яких умовах розраховується тепловий потік крізь снігольодяний покрив?
7. Як розраховуються коефіцієнти теплопровідності снігу?
8. Від яких факторів залежать коефіцієнти тепловіддачі?
9. Як визначається температура на межі між шарами снігольодяної товщі?
10. Яке диференційне рівняння покладено в основу розрахунку розподілу температури води по глибині під льодом водосховища?
11. В чому полягає метод кінцевих різниць?
12. Як розраховуються коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності?
13. Які параметри визначаються за допомогою умов Шмідта?
14. Як визначається градієнт температури у придонному шарі?
15. Як утворюються ополонки динамічного та термічного утворення?
16. Яке рівняння покладено для розрахунку довжини ополонки?
17. Назвіть умови, при яких спостерігається нарощення льоду на його нижній поверхні.
18. Поясніть вплив снігового покриву на процес нарощення льоду.
19. Від яких факторів залежить товщина льоду на водоймах?
20. Як визначаються коефіцієнти тепловіддачі?
21. Що таке “еквівалентна” товщина льоду?
22. Поясніть отримані результати розрахунку товщини льоду.

Додаток А

Вихідні дані

Водосховище розташовано на широті $\varphi=50^\circ$ півн. ш.
Розрахунковий період: грудень-січень

Таблиця 1- Характеристики водосховища

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Глибина, H м	4	4	5	5	5	8	8	10	10	10
Ширина, B м	200	200	250	250	250	400	400	500	500	500
Витрата, Q м ³ /с	10	15	20	25	30	50	55	65	70	75

Таблиця 2 – Метеорологічні дані (середньодекадні значення температури повітря θ_{200} , парціальний тиск водяної пари e_{200} , швидкість вітру ω_{200} , загальна хмарність N_z)

Варіант	Період часу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
θ_{200} , °С	Перша декада січня	- 14	- 16	- 18	- 20	- 22	- 24	- 26	- 28	- 30	- 32
e_{200} , гПа		2.2	1.7	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
ω_{200} , м/с		5.6	5.2	4.8	4.4	4.0	3.6	3.2	2.8	2.4	2.0
N_z , у долях від одиниці		1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0	0
θ_{200} , °С	Перша декада грудня	- 5	- 6	- 7	- 8	- 9	- 10	- 11	- 12	- 13	- 14
ω_{200} , м/с		6.6	6.2	5.8	5.4	5.0	4.6	4.2	3.8	3.4	3.0

Таблиця 3 – Характеристики шару снігу, який щойно випав,
товщина δ_1 , щільність ρ_1

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
δ_1 , м	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09
ρ_1 , кг/м ³	140	160	180	200	220	240	160	280	300	320

Таблиця 4 – Початкова температура води

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_n , °C	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0

Таблиця 5 – Теплообмін водної маси з дном

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q_{\text{дн}}$, Вт/м ²	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38

Збірник Методичних вказівок
до самостійної роботи та виконання контрольних робіт
з курсу
“Гідрофізика”

Укладачі: к.геогр.н., ст. викладач Шаменкова О.І.

Підп. до друку	Формат	Папір друк.
Умовн.друк.арк.	Тираж	Зам №

Одеський державний екологічний університет
65016, м.Одеса, вул Львівська, 15

Надруковано з готового оригінал – мак

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки
до самостійної роботи та виконання контрольної роботи
з дисципліни «Гідрофізика»
для студентів IV- V курсі заочної форми навчання
Спеціальність – 103 «Науки про Землю»

Узгоджено
у навчально- консультативному центрі
Завідувач центру *М.М. Монюшко* Монюшко М.М.

Затверджено
на засіданні кафедри гідрології суші
протокол № 16 від 19.04 2018 р.
зав. кафедри *Ж.Р. Шакірзанова* Шакірзанова Ж.Р..

Одеса 2018