

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності від « 01 » лютого 2021
року протокол № 5

Голова групи забезпечення спеціальності



Шакірзанова Ж.Р.

УЗГОДЖЕНО

Начальник кафедри військової підготовки

полковник  Грушевський О.М

СИЛЛАБУС

навчальної дисципліни «ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
АТМОСФЕРНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРОГНОЗАХ ПОГОДИ»

Спеціальність 103 НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

ОПП “Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення Збройних
Сил України”

Рівень вищої освіти – БАКАЛАВР, форма навчання денна

Рік навчання - третій, семестр – шостий,

кількість кредитів ЄКТС – 4,0/120 годин, форма контролю – залік

Кафедра військової підготовки

Одеса, 2021 р.

Автор: 1. Семенова І.Г., професор кафедри, д-р геогр.наук, доцент
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри військової підготовки від
«_29_» _____ січня _____ 2021 року, протокол № _5_____

Викладачі:

1. Лекції - Семенова І.Г., професор кафедри, д-р геогр.наук, доцент
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)
2. Практичні заняття – Семенова І.Г., професор кафедри, д-р.геогр.наук, доцент
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

Рецензент :

Начальник кафедри
військової підготовки,
полковник

О.М. Грушевський

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета	Мета дисципліни полягає у формуванні у студентів системи знань з математичного моделювання атмосферних процесів з використанням рівнянь гідротермодинаміки.
Компетентність	Здатність виконувати обробку та аналіз аеросиноптичного матеріалу, залучати, обробляти і використовувати додаткові види гідрометеорологічної інформації (супутникової, радіолокаційної, чисельного моделювання тощо) в задачах прогнозування погодних умов.
Результат навчання	Володіти математичним апаратом для моделювання атмосферних процесів та явищ різних просторово-часових масштабів, використовувати продукцію чисельного моделювання провідних світових прогностичних центрів для розробки локальних прогнозів погоди.
Базові знання	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принципи побудови моделей атмосферних процесів різних масштабів на основі системи рівнянь гідротермодинаміки. 2. Типи хвильових рухів в атмосфері та їх математичний опис. 3. Методи обробки метеорологічної інформації. 4. Методи розв'язання загальної задачі про прогноз метеорологічних величин. 5. Основи методу кінцевих різниць для розв'язання рівнянь гідротермодинаміки.
Базові вміння	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналізувати рівняння гідротермодинаміки з фізичної та математичної точок зору. 2. Приводити систему рівнянь гідротермодинаміки до лінійного вигляду. 3. Застосовувати метод кінцевих різниць для розв'язання рівнянь гідротермодинаміки. 4. Оцінювати якість чисельних прогнозів метеорологічних величин та полів.
Базова навичка	Вміння оцінювати та застосовувати продукти чисельних моделей атмосферних процесів для опису майбутнього стану атмосфери та складання прогнозів погоди.
Пов'язані силлабуси	-
Попередня дисципліна	Фізика атмосфери
Наступна дисципліна	-
Кількість годин	<p>Лекції: 30 годин; Практичні заняття: 30 годин; Лабораторні заняття: - Семінарські заняття: - Самостійна робота студентів – 75 годин</p>

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Лекційні модулі

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	Вступ. Основні принципи математичного моделювання атмосферних процесів. Лінійна теорія атмосферних хвиль.	13	6,5
	<u>Тема 1.</u> Системи чисельного прогнозування погоди: історія розвитку і загальні відомості.	2	0,5
	<u>Тема 2.</u> Види вхідної метеорологічної інформації. Методи підготовки і обробки метеорологічної інформації для гідродинамічних прогнозів. Препроцесінг і постпроцесінг.	2	1
	<u>Тема 3.</u> Закони збереження. Система рівнянь гідротермодинаміки (ГТД) в декартовій, ізобаричній та σ -системі координат для великомасштабних рухів.	3	2
	<u>Тема 4.</u> Хвильові процеси в атмосфері.	2	1
	<u>Тема 5.</u> Лінеаризація системи рівнянь ГТД за допомогою методу малих збурень.	2	1
	<u>Тема 6.</u> Лінійні моделі довгих хвиль Россбі (одновимірних, двовимірних). Метеорологічна значущість атмосферних хвиль.	2	1
ЗМ-Л2	Фільтровані моделі прогнозу полів метеорологічних величин. Чисельні методи реалізації моделей. Застосування продуктів чисельного моделювання в прогнозах погоди.	17	8,5
	<u>Тема 7.</u> Квазігеострофічна баротропна модель для середнього рівня.	4	2
	<u>Тема 8.</u> Квазігеострофічна бароклінна модель в квазістатичному і адіабатичному наближеннях.	4	2
	<u>Тема 9.</u> Метод сіток. Кінцево-різницева апроксимація похідних. Стійкість та точність чисельного рішення.	1	0,5
	<u>Тема 10.</u> Схеми чисельного інтегрування за часом.	2	1
	<u>Тема 11.</u> Системи ансамблевого прогнозування.	2	1
	<u>Тема 12.</u> Основні глобальні та регіональні моделі.	2	1
	<u>Тема 13.</u> Методи оцінки якості чисельних прогнозів.	2	1
	Разом	30	15
Залік		15	

Консультації:

Семенова Інна Георгіївна – четвер, час - 14.30 – 16.05, ауд. 422.

2.2 Практичні модулі

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	Кількісний аналіз рівнянь ГТД.	14	7
	<u>Тема 1.</u> Оцінка порядків членів рівнянь за допомогою таблиць порядків метеорологічних величин та їх похідних.	2	1
	<u>Тема 2.</u> Оцінка диференціальних характеристик поля швидкості вітру за допомогою синоптичних карт.	4	2
	<u>Тема 3.</u> Лінеаризація рівнянь ГТД відносно різних станів.	4	2
	<u>Тема 4.</u> Розрахунки параметрів хвиль Россбі за допомогою карт баричної топографії.	4	2
ЗМ-П2	Скінченнорізницеві методи розв'язання рівнянь ГТД.	16	8
	<u>Тема 1.</u> Скінченнорізницева апроксимація похідних. Сіткові дані та їх застосування для аналізу полів метеорологічних величин.	6	3
	<u>Тема 2.</u> Розв'язання скінченнорізницевих рівнянь методом кроків у часі (на прикладі рівняння адвекції).	5	2,5
	<u>Тема 3.</u> Оцінка якості чисельних прогнозів.	5	2,5
Разом		30	15

Консультації:

Семенова Інна Георгіївна – четвер, час - 14.30 – 16.05, ауд. 422.

2.3 Самостійна робота

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	Підготовка до лекційних занять. Усне опитування (УО) (не обов'язкове).	6,5	2 тиждень
	Вивчення певних тем до лекційних занять. Усне опитування (УО) (не обов'язкове).	6	2-3, 6-7 тиждень
	Підготовка до контрольної роботи КР1 (обов'язкова).	5	8 тиждень
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційних занять. Усне опитування (УО) (не обов'язкове).	8,5	9-10 тиждень
	Вивчення певних тем до лекційних занять. Усне опитування (УО) (не обов'язкове).	6	10-11, 12-13 тиждень
	Підготовка до контрольної роботи КР2 (обов'язкова).	5	14 тиждень
ЗМ-П1	Підготовка до усного опитування (УО) при розв'язанні задач під наглядом викладача в обчислювальному класі (РЗ) (не обов'язкове).	7	2-6 тиждень
	Перевірка виконання домашнього завдання (ДЗ) (обов'язкове).	4	6 тиждень
ЗМ-П2	Підготовка до усного опитування (УО) при розв'язанні задач під наглядом викладача в обчислювальному класі (РЗ) (не обов'язкове).	8	8-14 тиждень
	Перевірка виконання домашнього завдання (ДЗ) (обов'язкове).	4	14 тиждень
ЗКР	Підготовка до залікової контрольної роботи	15	15 тиждень
	Разом	75	

2.4 Методика проведення та оцінювання контрольних заходів

1. Методика проведення та оцінювання контрольних заходів змістовних модулів. Всього на оцінку 2 теоретичних та 2 практичних модулів з дисципліни відводиться **100 балів**, з них на теоретичну частину **60 балів**: ЗМ-Л1 – 30 балів, ЗМ-Л2 – 30 балів; на практичну частину відводиться **40 балів**: ЗМ-П1 – 20 балів, ЗМ-П2 – 20 балів.

2. Методика проведення і оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л1 та ЗМ-Л2 полягає в усному опитуванні (не обов'язково) по темах минулих лекцій на початку кожної наступної лекції. Контрольна робота складається із тестових питань за темою змістовного модуля. В кожній контрольній роботі 15 питань. Кожне питання у контрольній роботі № 1 та № 2 оцінюється в 2 бали. Загальна оцінка підраховується за кількістю правильних відповідей.

3. Методика проведення та оцінювання контрольних заходів ЗМ-П1, ЗМ-П2 полягає в оцінюванні результатів виконаних розрахунків, умінні студента узагальнювати результати розрахунків, повноті відповідей на запитання, а також оцінюється правильність та повнота виконання домашнього завдання (ДЗ) до кожного практичного модуля. На виконання домашнього завдання відводиться по 15 балів на кожний модуль. Оцінювання усного опитування (УО) на практичних заняттях є додатковим заходом поточного контролю і забезпечує додатково до 5 балів на кожен модуль.

4. Питання про допуск студента до заліку розглядається тільки за умови, якщо фактична сума балів за теоретичну та практичну частину складає не менше 50 % від максимальної суми балів за кожну, що становить відповідно 30 балів за теоретичну частину і 15 балів за практичну частину. В іншому випадку студент вважається таким, що не виконав навчального плану дисципліни, і не допускається до заліку.

5. Поточний контроль роботи студента у вигляді контрольних робіт, усного опитування та виконання домашніх завдань заноситься до інтегральної відомості, і сума балів, яку отримав студент за всіма змістовними модулями, формує кількісну оцінку.

6. Залікова контрольна робота (ЗКР) складається з 20 тестових питань і оцінюється в 5 балів за кожне питання. Всього на залікову контрольну роботу відводиться 100 балів.

3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1 Модуль ЗМ-Л1. Вступ. Основні принципи математичного моделювання атмосферних процесів. Лінійна теорія атмосферних хвиль.

При вивченні матеріалу модулю ЗМ-Л1 основна увага приділяється загальним питанням щодо становлення та розвитку чисельних методів прогнозу погоди, та принципам побудови системи рівнянь погоди для описання атмосферних рухів різних масштабів. Також вивчаються принципи класифікації атмосферних рухів згідно фізичним характеристикам розповсюдження коливань в атмосфері, і побудова лінійних рівнянь ГТД для розв'язання задач щодо моделювання атмосферних хвиль різних масштабів.

При вивченні тем 1-3 модулю ЗМ-Л1 рекомендується використовувати такі літературні джерела: [1] с.12-22; [2] с.7-13; [3] с.11-17; [4] с. 7-27; [7] с.10-15. При вивченні тем 4-5 рекомендується використовувати літературні джерела: [5] – розділ 2, с. 21-52, розділ 3, с. 53-76, розділ 4, с. 130-146; розділ 5, с. 175-177; [8], с. 113-122.

Питання для самоперевірки ЗМ-Л1.

1. Який фізичний зміст мають рівняння Нав'є-Стокса?
А — відображують математичний опис закону збереження імпульсу. - Відповідь вірна.
Б — відображують сили, які діють в атмосфері. Відповідь частково вірна, рівняння описують другий закон Ньютона, який виражає залежність прискорення тіла від рівнодійної всіх прикладених до нього сил.
В — відображують певний масштаб атмосферних рухів. Відповідь невірна, рівняння Нав'є-Стокса описують рухи всіх масштабів.
2. Для чого використовують об'єктивний аналіз на етапі підготовки до засвоєння даних?
А - для перетворення метеорологічних даних, отриманих від різних спостережних систем, до вузлів регулярної сітки для використання в чисельних моделях. - Відповідь вірна.
Б — для візуалізації метеорологічних даних при використанні в чисельних моделях. - Відповідь невірна, в чисельних моделях вхідна та вихідна інформація представляється у вузлах регулярної сітки.
3. Чому при розв'язанні системи рівнянь ГТД необхідно ставити межові умови?
А — межові умови задаються для того, щоб отримати однозначний розв'язок системи рівнянь ГТД). - Відповідь вірна.
Б — межові умови необхідні для виконання закону збереження маси в атмосфері. - Відповідь частково правильна, для цієї цілі встановлюють межові умови за вертикальною координатою.
4. Які рівняння називаються прогностичними?

А - прогностичними є рівняння, які містять похідну за часом (звичайно, в лівій частині рівняння). - Відповідь вірна.

Б - прогностичними є рівняння, які містять діагностичні співвідношення для розрахунку показників стану атмосфери. - Відповідь невірна, для прогнозу необхідні еволюційні члени в рівнянні, тобто такі, що містять похідну за часом.

5. Для чого систему рівнянь ГТД доповнюють рівнянням стану?

А — для замикання системи з п'яти диференціальних рівнянь, що описують три закони збереження, і яка містить 6 невідомих функцій u, v, w, T, p . - Відповідь вірна.

Б — для розрахунку прогностичного тиску (p). - Відповідь невірна, рівняння стану є діагностичним, тобто не містить еволюційних похідних за часом.

6. Чи дорівнює швидкість поширення хвилі швидкості коливань частинок в ній?

А — так, дорівнює, оскільки частинки переміщуються разом з хвилею. - Відповідь невірна.

Б — ні, швидкість поширення хвилі, або швидкість поширення коливання, не дорівнює швидкості коливань частинок, оскільки частинки коливаються лише відносно свого положення рівноваги, не переміщуючись разом з хвилею. - Відповідь вірна.

7. Що покладено в основу кінематичної класифікації атмосферних рухів?

А — взаємне розташування напрямку, вздовж якого коливаються частини відносно положення рівноваги, і напрямку поширення хвилі. - Відповідь вірна.

Б — довжина та швидкість розповсюдження хвиль. - Відповідь невірна.

8. Який принцип покладено до методу малих збурень?

А — метод малих збурень припускає, що будь яку функцію можна представити у вигляді суми функції, що характеризує основний (рівноважний) стан і приросту цієї функції, що виникає внаслідок збурення рівноважного стану. - Відповідь вірна.

Б — метод малих збурень припускає, що коливання відбуваються відносно стійкого стану атмосфери, який характеризується станом спокою. - Відповідь частково вірна, адже за рівноважний стан може прийматися й стала величина, що відрізняється від нуля.

9. До якого кінематичного класу належать хвилі Россбі?

А — повздовжні хвилі. - Відповідь невірна. До цього класу належать акустичні хвилі.

Б — вертикально-поперечні хвилі. - Відповідь невірна. До цього класу належать гравітаційні хвилі.

В — горизонтально-поперечні хвилі. - Відповідь правильна.

10. Які члени диференційних рівнянь є лінійними?

А — які містять добуток з однією невідомою величиною. - Відповідь правильна.

Б — які містять добуток з двома або більше невідомими величинами. -
Відповідь невірна.

3.2 Модуль ЗМ-Л2. Фільтровані моделі прогнозу полів метеорологічних величин. Чисельні методи реалізації моделей. Застосування продуктів чисельного моделювання в прогнозах погоди.

Під час вивчення матеріалу модулю ЗМ-Л2 слід ознайомитися з основними принципами побудови квазігеострофічних моделей прогнозу та фізичним обґрунтуванням спрощень, що в них застосовуються, а також вивчити переваги та недоліки методу сіток, який використовується для чисельного розв'язання рівнянь ГТД, і найбільш уживаними схемами чисельного інтегрування за часом. Також передбачається ознайомлення з принципами організації систем ансамблевого прогнозування та їх перевагами, огляд сучасних глобальних та регіональних моделей, що забезпечують прогностичною інформацією користувачів (в тому числі в Україні), а також вивчення методів оцінки якості чисельних прогнозів з метою ефективного використання в оперативній практиці.

При вивченні тем 7-10 ЗМ-Л2 рекомендується використовувати літературні джерела: [3] – розділ 3, стор. 69-86, розділ 4, стор. 93-98, розділ 6, стор. 128-138; [4] - розділ 4, стор. 98-115; [2] - розділ 1, стор. 7-29, розділ 2, стор. 30-53, розділ 3, стор. 54-75.

При вивченні тем 11-13 рекомендується використовувати літературні джерела: [3] – розділ 8, с. 176-193; [4] — розділ 6, с. 148-189.

Питання для самоперевірки ЗМ-Л2.

1. Які види атмосферних хвиль враховуються в квазігеострофічних моделях прогнозу?
А — весь спектр атмосферних хвиль. - Відповідь невірна.
Б — акустичні та гравітаційні хвилі. - Відповідь невірна, ці хвилі фільтруються квазігеострофічним наближенням та нестисливістю атмосфери.
В — хвилі Россбі. - Відповідь правильна.
2. Яка характеристика на середньому рівні (в тропосфері) дорівнює нулю?
А — пласка дивергенція. - Відповідь правильна.
Б — вертикальна швидкість. - Відповідь невірна, вертикальна швидкість на середньому рівні досягає максимуму.
3. Аналітичний розв'язок рівняння для бароклінної атмосфери Булеєва-Марчука описує вплив:
А — геострофічної адвекції абсолютного вихору на зміну геопотенціалу на прогностичному рівні. - Відповідь невірна. Аналітичний розв'язок описує вплив динамічного та термічного факторів.
Б — геострофічної адвекції температури на зміну геопотенціалу на прогностичному рівні. - Відповідь невірна. Аналітичний розв'язок описує вплив динамічного та термічного факторів.

В — геострофічної адвекції температури та абсолютного вихору на зміну геопотенціалу на прогностичному рівні. - Відповідь правильна.

4. Суть методу сіток полягає у тому, що:

А - неперервний простір і час замінюються множиною дискретних точок, а поля метеовеличин задаються у вигляді множини дискретно-сіткових значень функцій. - Відповідь правильна.

Б - зберігається неперервність у полях метеовеличин за рахунок їх задання у вигляді безперервних значень функцій. - Відповідь невірна, метод сіток передбачає просторово-часову дискретність полів.

5. Скінченнорізницева апроксимація — це:

А — процедура заміни похідної скінченною різницею. - Відповідь правильна.

Б — процедура аналітичного розв'язання диференційного рівняння. - Відповідь невірна, аналітичний розв'язок не передбачає заміну похідних скінченнорізницеви аналогами.

6. Ансамблевий підхід до розв'язання задачі чисельного прогнозу погоди передбачає:

А — процедуру багатократного інтегрування системи рівнянь однієї або декількох моделей атмосфери з використанням декількох наборів вихідних даних про початковий стан атмосфери. - Відповідь правильна.

Б - процедуру одноразового інтегрування системи рівнянь моделі атмосфери з використанням набору даних про початковий стан атмосфери, який вважається найбільш наближеним до реального стану атмосфери. - Відповідь невірна, цей підхід називається детермінованим.

7. Необхідність використання систем ансамблевого прогнозування викликана тим, що:

А - зміна атмосферних процесів дуже сприйнятлива до незначних похибок в попередньому аналізі вхідних даних. В ансамблевому прогнозі вносяться незначні зміни в аналіз, а потім знову робиться прогін моделі з новими злегка збуреними початковими умовами, що дозволяє отримати остаточний прогноз з оцінкою його вірогідності. - Відповідь правильна.

Б - точність чисельного прогнозу погоди залежить від просторово-часового розділення моделі атмосфери, а також від точності і повноти параметризацій процесів підсіткового масштабу, що може бути більш повно реалізовано в ансамблевому прогнозі. - Відповідь частково правильна, адже підвищення якості в ансамблевому прогнозі здійснюється за рахунок збільшення варіантів прогнозу при незмінній схемі чисельних моделей.

8. До якого типу моделей відносяться чисельні моделі WRF та ALADIN?

А — глобальні мезомасштабні моделі. - Відповідь невірна.

Б — регіональні мезомасштабні моделі. - Відповідь правильна.

9. Що таке верифікація прогнозів?

А — верифікацією називають процедуру оцінки якості прогнозів, які складаються за допомогою чисельних моделей. - Відповідь правильна.

Б — верифікацією називають процедуру оцінки цінності прогнозів, які складаються за допомогою чисельних моделей. - Відповідь невірна, адже якість – це ступінь, до якого прогноз збігається з тим, що реально відбувається, а цінність визначається ступенем, до якого прогноз допомагає відповідальній особі реалізувати деякі економічні або інші переваги.

10. Що називають успішністю прогнозу?

А - успішність – це точність прогнозу відносно деякого базисного прогнозу, яким може бути безуспішний (випадковий) або інерційний (який визначається за останніми даними спостережень і передбачає незмінність умов) прогноз, або кліматичний, який базується на кліматичних даних. - Відповідь правильна.

Б — успішність - це рівень узгодженості між прогнозом та спостереженням. - Відповідь невірна, адже це рівень узгодженості між прогнозом та спостереженням є точністю прогнозу.

3.3 Рекомендації до виконання практичних робіт

Модуль ЗМ-П1. Кількісний аналіз рівнянь ГТД.

Модуль ЗМ-П2. Скінченнорізницеві методи розв’язання рівнянь ГТД.

Практичні заняття за модулями ЗМ-П1, ЗМ-П2 передбачають виконання розрахунків або розв’язання задач за темами занять, вказаних в розділі 2.2. Студенти також проводять аналіз отриманих результатів розрахунків в табличній або графічній формі, у вигляді запису у робочому зошиті або у вигляді побудови на картах, в залежності від змісту завдання. На деяких практичних заняттях передбачається використання пакету MS Excel для виконання табличних розрахунків та статистичної і графічної обробки навчального матеріалу.

Методика виконання практичних занять викладена в Методичних вказівках, складених по кожній темі, а також в Практикумі з гідродинамічних методів прогнозу погоди [3]. Методичні вказівки для виконання практичних робіт є в паперовому і електронному варіантах.

Список методичних вказівок

1. Хоменко Г.В., Семенова І.Г. Збірник методичних вказівок до самостійної роботи студентів з дисципліни “Хвильові процеси в атмосфері”. Одеса, ОДЕКУ, 2005. 36 с.
2. Хоменко Г.В., Семенова І.Г. Збірник методичних вказівок до самостійної роботи студентів з дисципліни “Гідродинамічні методи прогнозу погоди”. Одеса, ОДЕКУ, 2001. 27 с.
3. Хоменко Г.В. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів та виконання міжсесійної контрольної роботи з дисципліни «Гідродинамічні методи прогнозу погоди» з елементами дистанційної форми навчання. Одеса, ОДЕКУ, 2017. 49 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/578/>

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.1 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1

1. Яке рівняння є математичним записом закону збереження імпульсу? [3] с. 11-13.
2. Яке рівняння є математичним записом закону збереження енергії? [3] с. 11-13.
3. Які рівняння називають прогностичними/діагностичними? [3] с. 17-18.
4. Чи можна використовувати рівняння горизонтального руху в якості прогностичних? [3] с. 11-18.
5. Який вигляд має третє рівняння руху для великомасштабних рухів? [3] с. 16.
6. Що розуміють під порядком метеорологічної величини або похідної? [3] с. 105-106.
7. Що таке вільна атмосфера? [3] с. 15-16.
8. По якій території розраховуються регіональні і глобальні моделі? [2] с. 126-127.
9. Які типи математичних рівнянь входять до система рівнянь ГТД?
10. Яку характеристику називають часовим дозволом моделі? [3] с. 69.
11. Яку характеристику називають вертикальним дозволом моделі? [3] с. 69.
12. Що розуміють під «вихідними даними» регіональної моделі? [2] с. 126-127.
13. Що таке «постпроцесінг»? [2] с. 126-127.
14. Що таке «об'єктивний аналіз»? [2] с. 126.
15. Як записується верхня/нижня межева умова (ВМУ/ НМУ) для розв'язання системи рівнянь ГТД? [3] с. 19.
16. Як спрямована вісь u в локальній декартовій системі координат? [3] с. 13.
17. Як спрямована вісь z в локальній декартовій системі координат? [3] с. 13.
18. Розписати повну похідну (u , w , T) за часом через частинні. [3] с. 16.
19. Записати адвективний член в рівнянні припливу тепла. [3] с. 17.
20. Оцінити порядок адвективних/конвективних членів рівнянь руху та припливу тепла за допомогою таблиць порядків. [3] с. 105-106.
21. Як рухаються частки середовища при хвильових рухах? [5] с. 21-22.
22. Що враховує кінематична класифікація хвильових рухів? [5] с. 39, [9] с. 34-35.
23. Яка умова необхідна для виникнення акустичних хвиль? [5] с. 84.
24. До якого кінематичного класу відносяться гравітаційні хвилі? [5] с. 41.
25. Члени рівнянь є лінійними, якщо вони не містять яких величин? [5] с. 54-56.
26. Під дією яких сил виникають хвилі Россбі? [5] с. 41.
27. Що називають хвильовим профілем? [5] с. 22, [9] с. 11-16.
28. Що називають амплітудою хвилі? [5] с. 22, [9] с. 11-16.
29. Що таке хвильове число? [5] с. 23, [9] с. 11-16.
30. Яке обмеження використовують для фільтрації акустичних хвиль? [5] с. 84.
31. Які члени рівнянь руху завжди є лінійними? [5] с. 54-56.

32. Хвилі Россбі можна виключити з системи рівнянь гідротермодинаміки, якщо прийняти яке припущення? [5] с. 130-132.
33. Яка умова фільтрує гравітаційні хвилі в системі рівнянь ГТД? [5] с. 128, 130.
34. Як співвідноситься швидкість руху хвилі Россбі з її довжиною згідно формули Россбі? [5] с. 134-135.
35. Якої довжини можуть досягати стаціонарні хвилі Россбі? [5] с. 135-139.
36. Чи можуть переміщуватися хвилі Россбі зі сходу на захід? [5] с. 134-139.
37. Якщо довжина хвилі Россбі менше за L_s ($L < L_s$), то вони будуть рухатися із заходу на схід чи навпаки? [5] с. 134-139.
38. Якщо фазова швидкість хвилі Россбі від'ємна ($c < 0$), в якому напрямку хвилі будуть рухатися? [5] с. 134-139.
39. Як залежить фазова швидкість переміщення хвилі Россбі від: швидкості зонального потоку? [5] с. 134-139.
40. Яка хвиля називається стаціонарною? [5] с. 135.
41. Привести до лінійного вигляду окремі члени рівнянь системи ГТД відносно стану спокою. [5] с. 59-62.

4.2 Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2

1. В чому полягає суть сіткових методів? [3] с. 69.
2. Що таке просторова-часова сітка? [3] с. 69.
3. Яка функція називається сітковою? [3] с. 69.
4. Які схеми скінченнорізницевої апроксимації просторових похідних ви знаєте? [3] с. 73-76
5. Що таке однобічні різниці? [3] с. 73-76
6. Яка апроксимація є найбільш точною? [3] с. 73-76
7. Що розуміють під методом кроків за часом? [3] с. 82
8. Які схеми називаються явними? [3] с. 73.
9. Які схеми називаються неявними? [3] с. 74.
10. Які схеми називаються напівявними? [3] с. 75.
11. Що є скінченнорізницева схема рівняння? [3] с. 69.
12. Який зв'язок існує між кроками за часом та за простором? [3] с. 82.
13. Які фізичні величини входять до критерію КФЛ? [3] с. 82.
14. Яка умова носить назву "твердої стінки"? [2] с. 156, [5] с. 78-79, [3] с. 19.
15. Яка скінченнорізницева схема називається стійкою? [3] с. 83.
16. Для яких рівнянь критерій КФЛ є показником обчислювальної стійкості? [3] с. 82.
17. Яка повинна виконуватися нерівність при умові обчислювальної стійкості? [3] с. 82.
18. На якому рівнянні ґрунтується квазігеострофічна баротропна модель для середнього рівня? [3] с. 128.
19. Від яких факторів залежить зміна висоти ізобаричної поверхні в квазігеострофічній барокліній моделі? [3] с. 136-137.
20. Як вплине адвекція температури одного знаку в усій тропосфері на зміну висоти ізобаричної поверхні в середній тропосфері в квазігеострофічній барокліній моделі? [3] с. 137.
21. Що таке детермінований прогноз? [4] с. 185-186.
22. Який прогноз дає інформацію про вірогідність прогнозу? [4] с. 184.

23. Як називають складові моделі в ансамблі? [4] с. 186.
24. Що таке середня помилка прогнозу? [3] с. 182.
25. Що визначає середня абсолютна помилка прогнозу? [3] с. 182.
26. Що враховує середньоквадратична помилка прогнозу? [3] с. 183.
27. Для чого використовують середньоквадратичну фактичну та прогностичну мінливість? [3] с. 183.
28. Чи можна використовувати коефіцієнт кореляції для порівняння прогностичних і фактичних величин? [3] с. 184.
29. Що представляє собою дихотомічний прогноз? [3] с. 186.
30. Що таке точність прогнозу? [3] с. 188.

4.3 Тестові завдання до залікової контрольної роботи

1. Яке рівняння є математичним записом закону збереження маси? [3] с. 11-13.
2. Яке діагностичне рівняння використовують для замикання системи рівнянь ГТД? [3] с. 15.
3. Які члени є головними в рівняннях горизонтального руху? [3] с. 13-14.
4. Що таке адіабатичне наближення? [3] с. 15.
5. В якому шарі атмосфери слід враховувати силу турбулентної в'язкості? [3] с. 15-16.
6. На які типи за просторовим охопленням поділяються моделі? [2] с. 126-127.
7. По якій території розраховуються глобальні моделі? [2] с. 126-127.
8. До якого математичного класу відносяться рівняння повної системи рівнянь ГТД для атмосфери? [5] с. 20, [4] с. 10.
9. Яку характеристику називають просторовим дозволом моделі? [4] с. 10.
10. Що називають параметризацією атмосферних процесів „підсіткового” 117 масштабу моделі? [4] с. 116-117.
11. Як записується нижня межа умова (НМУ) для розв'язання системи рівнянь ГТД? [3] с. 19.
12. Чому дорівнює вертикальна швидкість на верхній і нижній межах при розв'язанні системи рівнянь ГТД? [3] с. 18-19.
13. Для чого ставлять межові умови при розв'язанні системи рівнянь ГТД? [3] с. 18.
14. Чому дорівнюють межові умови на бічних границях, якщо задача прогнозу розв'язується для всієї земної кулі? [3] с. 19.
15. Як називають межові умови за горизонтальними координатами? [3] с. 19.
16. Як спрямована вісь x в локальній декартовій системі координат? [3] с. 13.
17. Якими членами у рівняннях руху можна знехтувати для вільної атмосфери? [3] с. 15-16.
18. Під дією якої сили виникають акустичні хвилі? [5] с. 39.
19. В методі малих збурень будь-яка метеорологічна величина представляється у вигляді якої суми? [5] с. 54.
20. Що розуміють під довжиною хвилі? [5] с. 22.
21. Що розуміють під періодом хвилі? [5] с. 24.
22. На які типи поділяються хвильові рухи згідно кінематичної класифікації? [5] с. 39-42.
23. Якщо довжина хвилі Россбі більша за L_s ($L > L_s$), то в якому напрямку будуть рухатися хвилі? [5] с. 134-139.
24. Якщо довжина фазова швидкість хвилі Россбі додатна ($c > 0$), в якому напрямку вони будуть рухатися? [5] с. 134-139.

25. Як залежить фазова швидкість переміщення хвилі Россбі від: довжини та амплітуди самої хвилі? [5] с. 134-139.
26. Які хвилі найбільше впливають на погодоутворюючі процеси? [5] с. 175-177.
27. Які схеми апроксимації похідних називаються центральними? [2] с. 31.
28. Що являє собою критерій Куранта-Фридрікса-Леві (КФЛ)? [3] с. 82.
29. На яких рівняннях базуються квазігеострофічні моделі для барокліної атмосфери? [3] с. 134-135.
30. Від якого фактору залежить зміна висоти ізобаричної поверхні в точці прогнозу в квазігеострофічній баротропній моделі для середнього рівня? [3] с. 133-134.
31. В якому випадку зміни тиску в середній атмосфері в квазігеострофічній барокліній моделі будуть зумовлені тільки динамічним фактором? [3] с. 137-138.
32. В чому полягає суть методу інтегрування за часом? [2] с. 90.
33. Як можна оцінити точність скінченнорізницевої апроксимації? [2] с. 67.
34. Чим технічно ансамблевий прогноз відрізняється від детермінованого прогнозу? [4] с. 185-186.
35. Чи може ансамблевий прогноз надавати інформацію про вірогідність прогнозу? [4] с. 184.
36. Що називають членами ансамблю? [4] с. 186.
37. Які розрізняють типи систем ансамблевого прогнозування? [4] с. 186-187.
38. Що представляє собою середня величина по ансамблю? [4] с. 187.
39. Як розраховується розкид по ансамблю? [4] с. 187.
40. Для чого будують карти-спагетті? [4] с. 187-188.

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди. Підручник. Одеса, «Екологія», 2008. 338 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/3884>
2. Ківганов А.Ф., Хоменко Г.В., Хохлов В.М., Бондаренко В.М. Гідродинамічні моделі прогнозу погоди і сіткові методи їх реалізації. Одеса: «ТЕС», 2002. 179 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/957/>
3. Хоменко Г.В., Хохлов В.М., Бондаренко В.М. Практикум з гідродинамічних методів прогнозу погоди. Навчальний посібник. Одеса: «ТЕС», 2012. 206 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/3372/>
4. Хоменко Г.В. Гідродинамічне моделювання природних процесів: конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2014. 203 с. (електронний варіант). URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/3798/>
5. Ківганов А.Ф. Хвильові процеси в атмосфері. Підручник. Одеса: АО БАХВА, 2001. 180 с.

Додаткова література

6. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию. ВМО-№1091. Всемирная Метеорологическая Организация, Женева, 2012. 30 с. URL: https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WMO/ensembles-wmo_1091_ru.pdf
7. Белов П.Н., Борисенков Б.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
8. Матвеев Л.Г. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 607 с.
9. Хоменко, Г. В., Бондаренко, В. М. Хвильові процеси в атмосфері - Конспект лекцій. ОДЕКУ, Одеса. 2011. 141 с. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/951/>