

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи студентів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Гідродинамічні методи прогнозу погоди»

з елементами дистанційної форми навчання

напряму підготовки «Гідрометеорологія»
(метеорологія, кліматологія)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи студентів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Гідродинамічні методи прогнозу погоди»

з елементами дистанційної форми навчання

напряму підготовки «Гідрометеорологія»
(метеорологія, кліматологія)

«Узгоджено»

Зав. навчально-консультативного центру
_____ Волошина О.В.

«Затверджено»

на засіданні кафедри метеорології
та кліматології
протокол № 9 від 13.03.2017 р.
Зав.кафедри _____ Івус Г.П.

Одеса – 2017

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи студентів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Гідродинамічні методи прогнозу погоди»

з елементами дистанційної форми навчання

напряму підготовки «Гідрометеорологія»
(метеорологія, кліматологія)

«Узгоджено»
у навчально-консультативному центрі.

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів та виконання міжсесійної контрольної роботи з дисципліни «Гідродинамічні методи прогнозу погоди» з елементами дистанційної форми навчання.

Напрямок підготовки «Гідрометеорологія».

Укладач: к.геогр.н. Хоменко Г.В.; укр., 49 стор.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Навчальна дисципліна «Гідродинамічні методи прогнозу погоди» належать до циклу професійно-орієнтованих дисциплін варіативної частини і займає важливе місце у підготовці бакалаврів з напрямку «Гідрометеорологія» за спеціальністю «Метеорологія» — 6.040105.

Доцільність вивчення цієї дисципліни пов'язана з тим, що в останні десятиріччя чисельні методи прогнозу погоди набули швидкого розвитку і їх продукція широко використовується в оперативній практиці прогнозування погоди практично в усіх прогностичних центрах світу.

Мета викладання дисципліни полягає у тому, щоб навчити студентів розуміти принципи побудови гідродинамічних моделей прогнозу погоди, ознайомити їх з деякими методами чисельної реалізації моделей, а також надати знань з методів оцінки якості чисельних прогнозів і способів використання останніх в синоптичній практиці прогностичних центрів України.

Завдання цієї дисципліни полягає у тому, щоб сформувати у студентів систему знань про гідродинамічне моделювання атмосферних процесів і використання продукції чисельних моделей в оперативній роботі синоптика.

Після вивчення дисципліни студенти повинні:

знати

- системи координат, які використовуються в гідродинамічних моделях;
- рівняння гідротермодинаміки атмосфери (ГТД) в різних системах координат;
- основні принципи фізичної та математичної постановки задач чисельного гідродинамічного прогнозу великомасштабних атмосферних процесів на основі фільтрованих і повних рівнянь гідротермодинаміки;
- основні методи дослідження атмосферних рухів різних масштабів (зокрема, хвильових) з точки зору їх метеорологічної значущості;
- проблеми, які виникають при підготовці вихідної інформації та постановці початкових та межових умов;
- методи оцінювання якості прогностичних моделей та використання їх продукції в синоптичній практиці;

вміти

- аналізувати рівняння погоди в різних системах координат і пояснювати переваги та доцільність введення тих чи інших координатних систем;
- спрощувати систему рівнянь ГТД з урахуванням метеорологічної значущості атмосферних процесів різних масштабів;
- порівнювати та аналізувати точні рішення фільтрованих моделей;
- описувати основні компоненти чисельних прогностичних моделей з фізичної та математичної точок зору; пояснювати чим відрізняються різні типи моделей;

- пояснювати способи отримання вихідної інформації, її підготовки та засвоєння в моделях чисельного прогнозу погоди;
- оцінювати якість чисельних прогнозів полів метеорологічних величин і використовувати їх в оперативній практиці прогнозування погоди;
- реалізувати на комп'ютерах алгоритми розрахунку основних факторів змін атмосферного тиску та аналізувати їх.

Робочою програмою передбачено вивчення трьох розділів цієї дисципліни.

Перший розділ стосується системи рівнянь гідротермодинаміки (ГТД), яка є основою будь-якої моделі атмосферних процесів. Ця система є нелінійною и може розв'язуватися лише наближеними чисельними методами, тому в другому розділі детально розглядаються найбільш прості, але ефективні методи чисельного розв'язання системи – сіткові методи, які широко використовуються при реалізації прогностичних моделей.

В третьому розділі викладаються питання постановки задачі чисельного прогнозу великомасштабних процесів вільної атмосфери і аналізу прогностичних можливостей рівнянь ГТД. В цьому розділі розглядаються прогностичні моделі, які базуються на повній системі рівнянь ГТД; в загальних рисах розглядаються моделі, які використовуються в оперативній практиці зарубіжних країн і України. Обговорюються також питання щодо оцінки якості чисельних прогнозів та шляхів використання продукції останніх в оперативній практиці прогнозування погоди.

Мета методичних вказівок:

- надання базових знань з основних питань чисельних методів прогнозу погоди;
- рекомендації до виконання теоретичних і практичних завдань допоможуть студентам самостійно виконати міжсесійну контрольну роботу і успішно здати іспит.

Об'єм годин на вивчення дисципліни визначається навчальним планом підготовки студентів за напрямом підготовки «Гідрометеорологія» за спеціальністю «Метеорологія» — 6.040105.

1.1. Перелік тем лекційних занять.

Розділ 1. Вступ. Система рівнянь гідротермодинаміки, як основа для побудови чисельних моделей прогнозу погоди.

1. Фізичні закони збереження та їх математичний запис в різних системах координат (декартовій (ДСК), ізобаричній (ІЗК) та ζ -системах координат).
2. Диференціальні характеристики поля швидкості вітру (вихор і дивергенція) та їх фізичний зміст.
3. Рівняння вихору швидкості вітру та його використання в аналізі атмосферних процесів.

Розділ 2. Сіткові методи розв'язання рівнянь гідротермодинаміки.

1. Скінченнорізницева апроксимація похідних та оцінка її точності.
2. Схеми інтегрування рівнянь ГТД за часом: явні, неявні, напівнеявні схеми.
3. Побудова скінченно-різницевої схем та реалізація їх методом кроків за часом.

Розділ 3. Основні принципи побудови чисельних моделей для великомасштабних процесів вільної атмосфери.

1. Постановка прогностичної задачі. Вихідна система рівнянь в ізобаричних координатах та її інтегрування кроками за часом.
2. Загальні відомості про сучасні чисельні моделі прогнозу та вимоги до них.
3. Методи оцінки якості чисельних прогнозів погоди та використання останніх в синоптичній практиці.

1.2. Перелік тем практичних занять.

Розділ 1. Кількісний аналіз рівнянь гідротермодинаміки.

1. Оцінка порядків членів рівнянь за допомогою таблиць порядків метеорологічних величин та їх похідних.
2. Спрощення рівнянь ГТД за допомогою методів теорії подібності.

Розділ 2. Використання сіткових методів для розв'язання задач чисельного прогнозу.

1. Розробка алгоритму розрахунку перших та других похідних за даними об'єктивного аналізу полів метеорологічних величин.
2. Аналіз розрахункових і вихідних полів з точки зору впливу динамічного і термічного факторів на еволюцію баричних утворень.

Розділ 3. Розв'язання системи повних рівнянь гідротермодинаміки в P - системі координат та оцінка якості чисельних прогнозів.

1. Скінченнорізницевий запис рівнянь гідротермодинаміки з використанням різних схем інтегрування за часом (розв'язання задач).
2. Побудова алгоритму розв'язання системи рівнянь гідротермодинаміки в ізобаричних координатах.
3. Оцінка якості чисельного прогнозу неперервних величин за допомогою графічних та статистичних методів.

Графік
вивчення дисципліни та виконання змістовних модулів і завдань
міжсесійної контрольної роботи

№ п/п	Змістовний модуль	Тема	Форма контролю	Термін виконання	Бали
1	ЗМ-Л1	Вступ. Система рівнянь ГТД, як основа для побудови чисельних моделей прогнозу погоди. 1. Фізичні закони збереження та їх математичний запис в різних системах координат (ДСК, ІСК, ζ -системі). 2. Диференціальні характеристики поля швидкості вітру (вихор і дивергенція) та їх фізичний зміст. 3. Рівняння вихору швидкості вітру та його використання в аналізі атмосферних процесів.	Відповідь на перше питання міжсесійної контрольної роботи	15-30 листопада	20
2	ЗМ-П1	Кількісний аналіз рівнянь ГТД	Виконання практичного завдання № 1	1-15 грудня	20
3	ЗМ-Л2	Сіткові методи розв'язання рівнянь ГТД. 1. Скінченнорізницева апроксимація похідних та оцінка її точності. 2. Схеми інтегрування рівнянь ГТД за часом: явні, неявні, напівнеявні. 3. Побудова скінченнорізницевих схем та реалізація їх методом кроків за часом.	Відповідь на друге питання міжсесійної контрольної роботи	15-30 березня	20
4	ЗМ-П2	Використання сіткових методів для розв'язання задач чисельного прогнозу.	Виконання практичного завдання № 2	1-15 квітня	20
5	ЗМ-Л3	Основні принципи побудови чисельних моделей для великомасштабних процесів вільної атмосфери. 1. Постановка прогностичної задачі. Вихідна система рівнянь в ізобаричних координатах та її інтегрування кроками за часом. 2. Загальні відомості про сучасні чисельні моделі прогнозу та вимоги до них. 3. Методи оцінки якості чисельних прогнозів погоди та використання останніх в синоптичній практиці.	Відповідь на третє питання міжсесійної контрольної роботи	16-30 квітня	20

Продовження графіку

№ п/п	Змістовний модуль	Тема	Форма контролю	Термін виконання	Бали
6	ЗМ-ПЗ	Оцінка якості чисельного прогнозу неперервних величин за допомогою графічних та статистичних методів.	Виконання практичного завдання № 3	Сесія	100
Міжсесійна контрольна робота				1-15 травня	100

2. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

2.1. Рекомендації до вивчення теоретичної частини дисципліни

Методичні вказівки складені таким чином, щоб допомогти студентам самостійно засвоїти великий обсяг інформації щодо принципів побудови чисельних моделей прогнозу погоди і чисельних методів їх реалізації. Тому до кожної теми робочої програми надаються посилання на підручники, навчальні посібники з вказівками відповідних сторінок. Рекомендації до вивчення змістовних модулів наводяться досить детально і супроводжуються запитаннями для самоперевірки засвоєння теоретичного та практичного матеріалу.

Отже, сформулюємо спочатку основні знання, які студенти повинні отримати при вивченні теоретичних модулів (ЗМ-Л1 – ЗМ-Л3).

Розділ 1. Після вивчення теми № 1 змістовного модуля ЗМ-Л1 студент повинен знати:

- основні фізичні закони збереження, які виконуються в атмосфері Землі, та їх математичний запис;
- систему рівнянь ГТД в декартових координатах для дослідження ламінарних течій;
- систему рівнянь ГТД для турбулентних течій;
- систему рівнянь ГТД для великомасштабних рухів вільної атмосфери в декартовій, ізобаричній та ξ -системах координат.

Посилання на навчально-методичну літературу:[1] с.12-22; [2] с.7-13; [3] с.11-17; [4] с.9-19; [7] с.10-15.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 1-15).

Після вивчення теми № 2 змістовного модуля ЗМ-Л1 студент повинен знати:

- кінематичні характеристики поля вітру (вихор та дивергенцію) та способи використання їх в аналізі атмосферних процесів;
- відносний, планетарний, абсолютний вихор швидкості вітру; фізичний зміст кожної з перелічених фізичних величин;
- тривимірна та двовимірна дивергенція; її роль в динаміці атмосферних рухів.

Посилання на навчально-методичну літературу:[3] с.47-52; [8] с.26-34.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 16-20).

Після вивчення теми № 3 змістовного модуля ЗМ-Л1 студент повинен знати:

- вихідні рівняння для отримання рівняння вихору швидкості вітру;
- фізичний зміст кожного члена рівняння вихору;
- вигляд рівняння для відносного вихору;

- вигляд рівняння для абсолютного вихору;
- рівняння збереження абсолютного вихору та механізм виникнення хвиль Россбі;
- використання рівняння вихору для побудови фільтрованих моделей прогнозу поля тиску.

Посилання на навчально-методичну літературу: [3] с.60-64; [8] с.34-39; [5] с.19-22 .

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 21-25).

Запитання для самоперевірки:

1. Який закон збереження описує рівняння припливу тепла?
2. Яке рівняння описує закон збереження кількості руху? Вигляд цього рівняння у векторній формі.
3. Який фізичний зміст мають рівняння Нав'є-Стокса?
4. Які сили діють в атмосфері і яку роль вони відіграють у формуванні атмосферних рухів?
5. Який вигляд має рівняння припливу тепла в адіабатичному наближенні?
6. Який вигляд має рівняння нерозривності для стисливого і нестисливого середовища?
7. Як пов'язані сили, діючі в атмосфері, з полями метеорологічних величин?
8. До якого класу відносяться рівняння системи гідротермодинаміки?
9. Які невідомі містять в собі рівняння ГТД?
10. Які рівняння називаються прогностичними?
11. Які прогностичні рівняння входять до складу системи рівнянь ГТД в декартовій системі координат?
12. Чому при розв'язанні системи рівнянь ГТД необхідно ставити початкові та межові умови?
13. Що таке ізобарична система координат, як спрямовані її осі?
14. Яка фізична величина відіграє роль вертикальної координати в ізобаричній системі координат?
15. Чому отожднюються горизонтальні координати в декартовій та ізобаричній системі координат?
16. Що являє собою рівняння вихору швидкості вітру? До якого типу рівнянь воно належить?
17. Який рух описує відносний вихор швидкості вітру? При яких умовах він додатний, а при яких від'ємний?

18. Який рух описує планетарний вихор? Чому він дорівнює?
19. Що називається абсолютним вихором швидкості? Які його основні властивості?
20. Що описує тривимірна дивергенція? У якому випадку вона буває додатня або від'ємна?
21. Який вигляд має фільтроване рівняння вихору швидкості вітру? З яких рівнянь його можна отримати і яким чином?
22. Завдяки чому рівняння вихору є прогностичним, а вихідні для нього рівняння руху мають низькі прогностичні можливості?
23. У чому полягає суть операцій «вихору» та дивергенції?
24. Який вигляд мають адвективні члени в рівняннях вихору?
25. Чим відрізняються адвективні члени від конвективних?

Розділ 2. Після вивчення теми № 1 змістовного модуля ЗМ-Л2 студент повинен знати:

- скінченнорізницеве представлення перших, других похідних та лапласіанів;
- методи оцінки точності скінченнорізницевої апроксимації похідних;
- точність перших та других похідних (просторових та часових);
- однобічні та центральні різниці.

Посилання на навчально-методичну літературу: [2] с.54-63; [3] с.69-73; [4] с.114-118.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 1-8).

Після вивчення теми № 2 змістовного модуля ЗМ-Л2 студент повинен знати:

- основні схеми інтегрування рівнянь ГТД за часом, тобто скінченнорізницеве представлення часових похідних;
- явні, неявні, напівнеявні схеми інтегрування рівнянь ГТД за часом на прикладі лінійного рівняння адвекції;
- побудову скінченнорізницевих схем окремих рівнянь або їх системи.

Посилання на навчально-методичну літературу: [2] с.87-88, 91-93; [3] с.73-76; [4] с.118-121.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 9-13).

Після вивчення теми № 3 змістовного модуля ЗМ-Л2 студент повинен знати:

- суть методу «кроками за часом»;
- алгоритм розв'язання лінійного рівняння адвекції «кроками за часом»;

- зв'язок між кроками за часовою та просторовими координатами; критерій Куранта-Фридрікса-Леві (КФЛ) та обчислювальна стійкість.

Посилання на навчально-методичну літературу: [1] с.143-144; [2] с.87-90; [3] с.80-83; [4] с.134-139.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 14-21).

Запитання для самоперевірки:

1. В чому полягає суть сіткових методів?
2. Що таке просторова-часова сітка?
3. Яка функція називається сітковою?
4. Які схеми скінченнорізницевої апроксимації просторових похідних ви знаєте?
5. Що таке однобічні різниці?
6. Які різниці називаються центральними?
7. Як можна оцінити точність скінченнорізницевої апроксимації?
8. Яка апроксимація є найбільш точною?
9. Які схеми інтегрування за часом ви знаєте?
10. Які схеми називаються явними?
11. Що є скінченнорізницева схема рівняння?
12. Який вигляд має лінійне рівняння адвекції?
13. Що являє собою критерій Куранта-Фридрікса-Леві (КФЛ)?
14. Який зв'язок існує між кроками за часом та за простором?
15. В чому полягає суть методу інтегрування за часом?
16. Чому всі сучасні чисельні моделі реалізуються цим методом?
17. Які фізичні величини входять до критерію КФЛ?
18. Яка інформація використовується при реалізації моделі на першому часовому кроці?
19. Яка інформація використовується на останньому кроці при реалізації чисельної моделі?
20. Для яких рівнянь критерій КФЛ є показником обчислювальної стійкості?
21. Яка повинна виконуватися нерівність при умові обчислювальної стійкості?

Розділ 3. Після вивчення теми № 1 змістовного модуля ЗМ-ЛЗ студент повинен знати:

- основні етапи, які виконуються при побудові чисельних моделей;
- основні обмеження, які вводяться при побудові моделей для великомасштабних процесів вільної атмосфери;

- вихідну систему рівнянь в ІСК; початкові та межові умови та послідовність дій при інтегруванні цієї системи.

Посилання на навчально-методичну літературу: [3] с.15-20, 22-24; [7] с.10-15; [4] с.7-27.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 1-8).

Після вивчення теми № 2 змістовного модуля ЗМ-ЛЗ студент повинен знати:

- основні принципи, на яких будуються сучасні чисельні моделі прогнозу погоди в різних країнах;
- вимоги до оперативних моделей чисельного прогнозу погоди.

Посилання на навчально-методичну літературу:[7] с.334-359; [2] с.126-128, 132, 139, 150-152.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 9-15).

Після вивчення теми № 3 змістовного модуля ЗМ-ЛЗ студент повинен знати:

- способи верифікації чисельних моделей;
- основні характеристики якості чисельних прогнозів;
- способи використання продукції чисельних моделей в оперативній практиці прогнозу погоди.

Посилання на навчально-методичну літературу:[3] с.176-184; [4] с.174-179.

Студент повинен відповісти на запитання для самоконтролю, що наводяться нижче (№№ 16-20).

Запитання для самоперевірки:

1. Яка вихідна система рівнянь використовується для побудови прогностичних моделей для великомасштабних атмосферних процесів? Як ставиться задача прогнозу метеорологічних величин на основі повних рівнянь гідротермодинаміки?

2. Які системи координат використовуються в сучасних оперативних моделях? В чому полягає їх перевага над декартовою системою?

3. У чому полягає суть квазістатичного і квазіадіабатичного наближень?

4. Чому при побудові прогностичних моделей за повними рівняннями використовуються шахові сітки точок? Як будується така сітка?

5. В чому перевага шахових сіток перед звичайними?

6. Які вихідні дані необхідні для розв'язання повної системи рівнянь в квазістатичному і квазіадіабатичному наближеннях?

7. Що являє собою процедура об'єктивного аналізу? Для чого вона потрібна?

8. Який вигляд має алгоритм інтегрування повних рівнянь в ізобаричних координатах?
9. Які системи координат використовуються в оперативних моделях?
10. Яким вимогам повинні задовольняти оперативні прогностичні моделі?
11. Які прогностичні рівняння входять до повної системи рівнянь в ізобаричних координатах?
12. Яка вихідна інформація необхідна для розв'язання задачі прогнозу по моделі ГМЦ Росії?
13. Що таке час відсікання? Чому він дорівнює?
14. В якій координатній системі записуються рівняння в моделі США?
15. Які фізичні процеси враховуються в прогностичній моделі Великої Британії?
16. Що являє собою поняття успішності чисельного прогнозу?
17. Що таке точність прогнозу?
18. Які статичні характеристики якості прогнозу неперервних величин ви знаєте?
19. Що таке дихотомічний прогноз?
20. В чому полягає суть верифікації прогностичної чисельної моделі?

2. 2. Самостійна робота студента при підготовці практичних робіт.

Для успішного виконання практичної частини контрольної роботи студент повинен засвоїти теоретичний матеріал за наведеними вище розділами.

Практичне завдання № 1. Спрощення рівнянь гідротермодинаміки за допомогою таблиць порядків метеорологічних величин та їх похідних.

Мета завдання - зробити оцінку членів рівнянь ГТД і обґрунтувати можливість спрощення цих рівнянь для великомасштабних рухів вільної атмосфери.

Порядок виконання завдання

1. За допомогою таблиці Юдіна показати, що члени другого рівняння руху мають такі ж порядки, як і першого.
2. Оцінити члени третього рівняння руху і отримати рівняння статички.
3. Оцінити порядки членів рівняння нерозривності і зробити висновки щодо спрощення цього рівняння для стисливого середовища.

4. Для виконання завдання використовується система рівнянь в декартових координатах ([4] – с. 9-14) і методика оцінки ([4] – с. 39-43; [3] – с. 104-107).

В атмосфері існують процеси та рухи різних масштабів. Є процеси, що розвиваються на обмеженій території протягом невеликого відрізка часу, інші процеси – на величезних просторах тривалий час. Наприклад, розвиток купчастої хмарності відбувається протягом декількох годин над територією з лінійними розмірами 10-100 км, а розвиток окремого циклону може відбуватися протягом декількох діб над територією з горизонтальною протяжністю 1000 км і більше.

Умовно усі атмосферні рухи можна розділити на три типи: рухи малих (мікро-), середніх (мезо-) і великих (макро-) масштабів. Характерний горизонтальний масштаб рухів першого типу складає 1-10 км, другого типу – 10-500 км, третього типу – 500-1000 км. Рівняння гідротермодинаміки (ГТД) описують усі перелічені типи атмосферних рухів.

Для прогнозу погоди представляють інтерес насамперед рухи великих масштабів або макропроцеси, які обумовлюють погоду над великими територіями. Характерним часовим масштабом таких процесів можна вважати 24 години, а характерним масштабом довжини 1000 км (середній шлях переміщення циклона за добу). Для таких типів рухів рівняння ГТД можна суттєво спростити.

Звичайно спрощення рівнянь ГТД проводиться за допомогою теорії подібності [3, 4]. Але самий простий спосіб спрощення рівнянь ґрунтується на використанні таблиць порядків метеорологічних величин та їх похідних, які складаються шляхом обробки великого об'єму даних метеорологічних спостережень. Вперше такі таблиці були складені в 1913 р. Фридманом А.А. і Гессельбергом Т. При оцінці порядків метеорологічних величин та їх похідних автори [3, 4] використовували наступне визначення порядку.

Порядком деякої метеорологічної величини f або її похідної $\frac{df}{dr}$ називається значення її в діапазоні, що включає до себе 99% всіх можливих значень.

Порядок позначається літерою O (від латинського *ordo* – порядок), записується і читається так:

$O(f)$ – порядок метеорологічної величини f ;

$O\left(\frac{df}{dt}\right)$ – порядок похідної за часом від метеорологічної величини f .

Аналогічно записуються порядки похідних по просторовим координатам x, y, z , а також порядки других похідних.

Порядки вказують в визначеній системі одиниць (МТС – метр-тонна-секунда, СИ – метр-кілограм-секунда) та округляють до найближчого степеня основи 10.

Як впливає з визначення, наведеного вище, порядок знаходиться в деякому діапазоні зміни самої метеорологічної величини або її похідної. Якщо верхня та нижня межа діапазону мають різні порядки, то вказують обидва значення; якщо межі діапазону відповідають однакові порядки, то вказується одне значення (див. [4] с. 39-43).

В Додатку наводиться таблиця А.1 порядків метеорологічних величин та їх похідних за Фридманом А.А. та Гессельбергом Т.

Використовуючи табл. А.1, можна оцінити порядок різних доданків в рівняннях ГТД і таким чином виділити головні. Незручність цієї таблиці полягає в тому, що порядки вказані для меж діапазонів і не завжди ясно, яке саме значення треба використовувати при оцінці членів рівнянь. Окрім того, всі величини, що містяться в табл. А.1, характерні для нижнього шару атмосфери.

На практиці для спрощення рівнянь більш зручно використовувати таблицю, в якій порядком вважається середнє квадратичне значення метеорологічної величини та її похідної. Така таблиця була складена М.І.Юдіним в 50-ті роки ХХ століття. В таблиці А.2 представлені скінченнорізницеві значення похідних метеорологічних величин, які характерні для шару атмосфери від підстильної поверхні до рівня 5 км, тобто для нижньої половини тропосфери. Для скінченнорізницевого представлення похідних використовувались наступні інтервали: за часом $\Delta t = 12$ год; по горизонталі $\Delta s = 500$ км; по вертикалі $\Delta z = 2.5$ км. Ці інтервали можна розглядати як характерні для синоптичних процесів масштаби за часом і у просторі.

Отже, скористаємося більш зручною таблицею А.2 для оцінки членів рівнянь гідротермодинаміки.

Спочатку випишемо систему рівнянь руху, в якій сили турбулентної в'язкості представлені за допомогою к-теорії, тобто з використанням коефіцієнтів турбулентності. В декартовій системі координат ці рівняння мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + lv - l_1 w + \frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_s \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - lu + \frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_s \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + l_1 u + \frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_s \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \quad (1.1)$$

В рівняннях (1.1) $l = 2wsin\varphi$; $l_1 = 2wcos\varphi$ – параметри Кориоліса; для помірних широт вони мають приблизно однаковий порядок, тобто $O(l)=O(l_1)$. K_s і K_z – горизонтальний та вертикальний коефіцієнти турбулентності. Відомо, що в атмосфері діють сили молекулярної в'язкості, але вони в тисячі, десятки тисяч разів менші в порівнянні з турбулентними, тому будемо оцінювати лише члени, що описують турбулентну в'язкість.

Застосуємо результати, отримані М.І. Юдіним (таблиця А.2), до аналізу першого рівняння руху із системи. Будемо вважати, що $O(K_s) = O(K_z) = 10 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Приймаємо також, що для помірних широт $O(l) \approx O(l_1) \approx 1,2 * 10^{-4} \text{ с}^{-1}$.

З таблиці А.2 знаходимо

$$\begin{aligned} O\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right) &= 1,2 * 10^{-4}; \\ O\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) &= O\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right) = 1,2 * 10^{-5}; \\ O\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right) &= 2 * 10^{-3}. \end{aligned}$$

Відзначимо, що в таблицях похідна $\frac{\partial}{\partial s}$ відповідає похідним за горизонтальними координатами $\frac{\partial}{\partial x}$, $\frac{\partial}{\partial y}$, оскільки $O\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) = O\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)$, де f – будь-яка метеорологічна величина.

З врахуванням того, що $O(u) = O(v) = 10^1$, отримаємо:

$$O\left(u \frac{\partial u}{\partial x}\right) = O\left(v \frac{\partial u}{\partial x}\right) = 10^1 * 1,2 * 10^{-5} = 1,2 * 10^{-4}.$$

При оцінці конвективного члена $w \frac{\partial u}{\partial z}$ треба враховувати, що вертикальна швидкість для великомасштабних процесів є малою, її порядок складає сантиметри за секунду, тобто $O(w) = 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Тоді, враховуючи, що $O\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right) = 2 * 10^{-3}$, отримаємо:

$$O\left(w \frac{\partial u}{\partial z}\right) = 10^{-2} * 2 * 10^{-3} = 2 * 10^{-5}.$$

Для оцінки правої частини першого рівняння руху в табл. А.2 знаходимо

$$O\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) = 8 * 10^{-7}, \text{ тоді } O\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}\right) = \frac{1}{10^{-3}} * 8 * 10^{-7} = 8 * 10^{-4}$$

Або, якщо округлити 8 до 10^1 , отримаємо $O\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}\right) \approx 10^{-3}$.

Оцінимо порядок членів, які описують сили турбулентної в'язкості. За даними таблиці А.2 з урахуванням того, що порядок K_s дорівнює порядку K_z (за порядок K_s і K_z приймаємо $10 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$), тобто $O(K_s) = O(K_z) \approx 10^1$.

$$O\left(\frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial u}{\partial x}\right) = O\left(\frac{\partial}{\partial y} k_s \frac{\partial u}{\partial y}\right) = O(k_s) * O\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right) = 10 * 3 * 10^{-11} = 3 * 10^{-10};$$

$$0\left(\frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial u}{\partial z}\right) = 0\left(\frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial v}{\partial z}\right) = 0(k_z) * 0\left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = 0(k_z) * 0\left(\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) = 10 * 1,2 * 10^{-6} = 1,2 * 10^{-5}$$

Перепишемо перше рівняння системи (1.1) з отриманими порядками відповідних членів:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + lv - l_1 w + \frac{\partial}{\partial x} k_s \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_s \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial u}{\partial z}$$

$10^{-4} \quad 10^{-4} \quad 10^{-4} \quad 10^{-3} \quad 10^{-3} \quad 10^{-6} \quad 10^{-10} \quad 10^{-10} \quad 10^{-5}$

Оскільки порядки зональної і меридіональної складових вітру та похідних однакові, для другого рівняння системи (1.1) порядки відповідних членів будуть такими, як і в першому рівнянні.

Результати оцінок показують, що порядки різних членів рівнянь горизонтального руху (перше і друге рівняння системи (1.1)) змінюються від 10^{-3} до 10^{-10} . Члени, які мають порядок 10^{-3} є найбільшими і тому називаються головними. З теорії подібності відомо, що членами, які на два порядки і більше (тобто в 100 разів і більше) менші головних, з великим ступенем точності можна нехтувати при розв'язанні задач для великомасштабних процесів атмосфери.

З урахуванням сказаного рівняння горизонтального руху набувають вигляду:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + lv; \quad (1.2)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - lu.$$

Ці рівняння носять назву рівнянь Ейлера. Вони описують рухи синоптичного масштабу у вільній атмосфері.

Отже, оцінки за допомогою таблиць порядків дозволяють суттєво спростувати рівняння. В даному випадку в рівняннях руху зменшилась кількість членів і понизився порядок: із диференціальних рівнянь в частинних похідних другого порядку вони перетворилися в рівняння першого порядку.

В грубому наближенні можна опустити члени, які лише на порядок (в 10 разів) менші головних, тоді із рівнянь Ейлера отримаємо :

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + lv; \quad (1.3)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - lu.$$

В цих рівняннях прискорення дорівнюють нулю. Відомо, що горизонтальні рухи без прискорення, які обумовлені дією тільки двох сил

(баричного градієнта і Коріоліса), називаються геострофічним. Із формул (1.3) отримуємо вирази для складових геострофічного вітру:

$$u_g = -\frac{1}{l\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; \quad v_g = \frac{1}{l\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.4)$$

де $l = 2wsin\varphi$ – параметр Коріоліса.

Таким чином, можна вважати, що великомасштабні рухи вільної атмосфери (вище граничного шару атмосфери) близькі до геострофічних. Це означає, що при розв'язанні багатьох задач динамічної і синоптичної метеорології та чисельних методів прогнозу погоди складові реального вітру можна замінювати геострофічними складовими, тобто вирішувати задачі в геострофічному наближенні.

Якщо за допомогою таблиці А.2 оцінити члени третього рівняння системи (1.1) і відкинути малі члени (на два порядки і більше менші за головні), отримуємо рівняння статки:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g .$$

Для оцінки рівняння вихору також можна скористатися таблицею порядків Юдіна (табл. А.2). Порядки складових швидкості вітру та вертикальної швидкості знаходяться в таблиці А.1:

$$O(u) = O(v) = 10; \quad O(W) = 10^{-2}; \quad O(\Omega_z) = 10^{-5}.$$

Наприклад, порядок адвентивних членів $u \frac{\partial \Omega}{\partial x}$, $v \frac{\partial \Omega}{\partial y}$ дорівнює:

$$O\left(u \frac{\partial \Omega_z}{\partial x}\right) = O\left(v \frac{\partial \Omega_z}{\partial y}\right) = 10 * 4 * 10^{-10} = 4 * 10^{-9} \approx 10^{-9}.$$

Після виконання практичного завдання № 1 студент повинен вміти:

- розписувати повні похідні за часом через частинні;
- за допомогою таблиць порядків оцінювати члени рівнянь ГТД, в тому числі і рівняння вихору швидкості вітру;
- робити висновки щодо спрощення рівнянь та їх прогностичних можливостей;
- обґрунтувати геострофічне та квазістатичне наближення.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке порядок метеорологічної величини або похідної згідно з визначенням Фридмана та Гессельберга?
2. Надайте визначення порядку відповідно до таблиці Юдіна.
3. Які члени є головними в рівняннях горизонтального руху і що вони описують?
4. Чи можна спростити рівняння нерозривності за результатами оцінок?

5. З фізичної точки зору чому локальні та адвективні похідні мають однаковий порядок?
6. Чому вертикальні рухи в атмосфері малі в порівнянні з горизонтальними, тобто зі швидкістю вітру?
7. Які рівняння називаються прогностичними?
8. Чи можна використовувати рівняння горизонтального руху в якості прогностичних?
9. Який вигляд має третє рівняння руху з урахуванням тільки головних членів?
10. Що таке геострофічне наближення і як можна отримати вирази для складових геострофічного вітру u_g, v_g ?
11. Який основний висновок впливає із оцінок рівнянь горизонтального руху?
12. Що таке адіабатичне наближення?
13. Чим відрізняються повна і локальна похідні?
14. В якому шарі атмосфери слід враховувати силу турбулентної в'язкості? Як цей шар називається?
15. Що таке вільна атмосфера? Який вигляд мають рівняння руху для цієї атмосфери?

Практичне завдання № 2. Сіткові методи та використання їх для розв'язання рівнянь ГТД.

Мета завдання полягає в тому, щоб навчити студентів використовувати метод сіток при аналізі атмосферних процесів. Основна задача полягає в надбанні студентами вмінь і навичок у використанні досить простого, але ефективного методу сіток для обчислення будь-яких диференціальних характеристик метеорологічних полів.

Для вирішення цієї задачі необхідно виконати наступне:

- на основі вихідної інформації (полів висоти ізобаричної поверхні і складових швидкості вітру) розрахувати похідні $\frac{\partial v}{\partial x}$ та $\frac{\partial u}{\partial y}$ і вертикальну складову вихору швидкості вітру Ω_p ;
- за даними висоти ізобаричної поверхні розрахувати лапласіани H і геострофічний вихор Ω_g ;
- зробити сумісний аналіз вихідних та розрахованих полів.

Відомо, що значення метеорологічних величин маємо в тих пунктах або точках, де проводяться спостереження за станом атмосфери. Але при дослідженні атмосферних процесів часто виникає необхідність знаходити значення метеовеличин в точках, де спостережень немає. В такому випадку значення будь-якої метеовеличини f можна знайти, якщо припустити, що ця

величина змінюється у просторі згідно з якимось законом. Найбільш простим є припущення, що величина f , наприклад, в горизонтальній площині або на ізобаричній поверхні змінюється по лінійному закону. Тоді величину f в точці, де немає спостережень, можна розрахувати за формулою:

$$f_i = f_0 + \frac{\partial f}{\partial x} x_i + \frac{\partial f}{\partial y} y_i, \quad (2.1)$$

де f_i – шукана функція (метеовеличина),

f_0 – значення останньої в початку координат (рис. 2.1);

x_i, y_i – координати точки i ;

номерама 1, 2, 3, ..., 6 позначені точки або пункти, в яких є спостереження і тому значення величини f відомі.

У виразі (2.1) $\frac{\partial f}{\partial x}$ і $\frac{\partial f}{\partial y}$ є постійними і описують зміни f вздовж осей x і y

на одиницю відстані. Оскільки x_i і y_i – координати точки i , то члени $\frac{\partial f}{\partial x} x_i$ та $\frac{\partial f}{\partial y} y_i$ описують зміни f , які відбуваються на відстанях x_i та y_i . Якщо ці зміни додати до значення величини f_0 , тобто до значення f в початку координат, то отримаємо f_i .

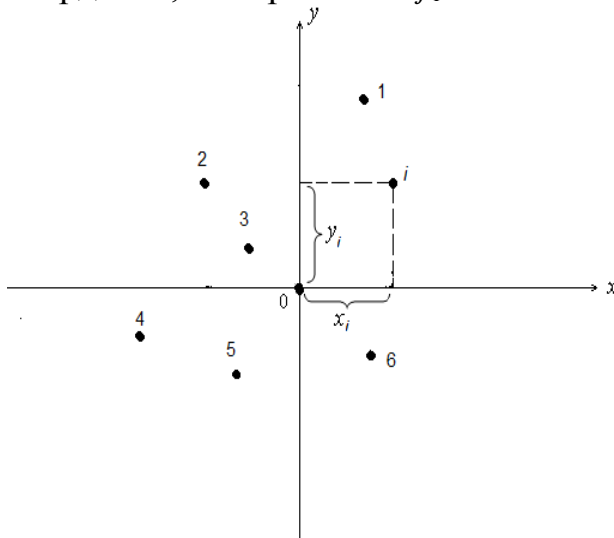


Рис.2.1. Розташування станцій спостережень відносно координатних осей (несиметрична сітка)

Вираз (2.1) показує, що для обчислення f_i потрібно мати значення похідних $\frac{\partial f}{\partial x}$ і $\frac{\partial f}{\partial y}$ та f_0 .

Отже, наша задача зводиться до отримання формул для розрахунку саме цих величин. Ця задача розв'язується з використанням методу найменших квадратів, який детально викладений в навчальному посібнику [2].

Тут ми наведемо лише формули для обчислення похідних та f_0 для випадку, коли значення метеорологічних величин відомі у вузлах симетричної (квадратної) сітки точок. Квадратна сітка

отримується при перетину взаємно перпендикулярних ліній, які знаходяться на однакової відстані по осях x та y . Точки перетину називаються вузлами сітки (на рис. 2.2 вони помічені жирними точками). Відстань між сусідніми вузлами називається кроком сітки: по осі x - ∂x ; по осі y - ∂y . Для симетричної сітки точок можна ввести один крок d , оскільки $\partial x = \partial y$, тобто $\partial x = \partial y = d$ - крок сітки.

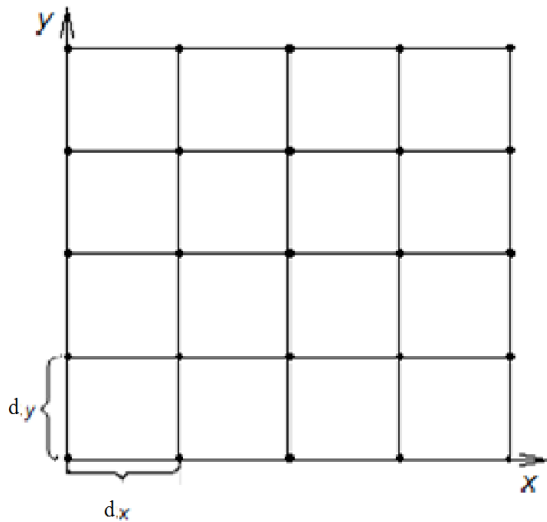


Рис.2.2. Симетрична сітка точок (вузлів)

Відзначимо, що значення будь-якої величини f у вузлах сітки отримується за процедурою, яка називається **об'єктивним аналізом**. Основна задача об'єктивного аналізу – це інтерполяція даних спостережень зі станцій спостережень (де метеовеличини відомі) у вузли сітки. Після виконання цієї процедури значення метеовеличин у вузлах сітки завжди відомі. Ще зробимо примітку, що в задачу об'єктивного аналізу входить також контроль якості даних спостережень (виправляються помилкові дані і відбраковуються такі, які неможна виправити).

Отже, запишемо формули для похідних і f_0 , які отримані для симетричної (квадратної) сітки точок з використанням методу найменших квадратів.

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_0 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2}; \quad f_0 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (2.2)$$

де n – кількість вузлів, інформація в яких використовується для розрахунку відповідних величин.

Рис.2.3. – Чотирьохточковий шаблон для розрахунку похідних (розмірні координати).

Розглянемо випадок, коли $n=4$, тобто для розрахунків по формулах (2.2) використовується f в чотирьох вузлах сітки, тобто i приймає значення 1, 2, 3, 4 (рис.2.3).

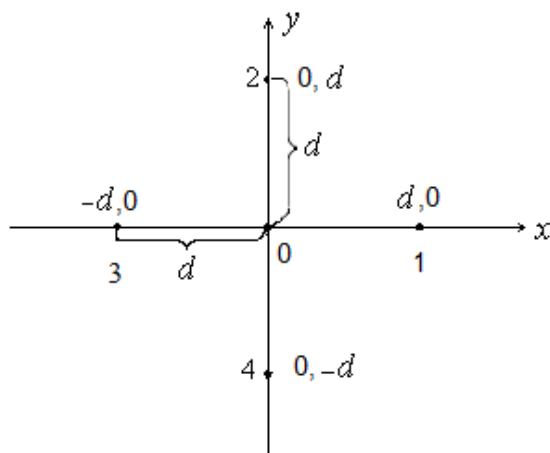


Рис.2.3. Чотирьохточковий шаблон для розрахунку похідних (розмірні координати)

Біля кожного вузла вкажемо його координати, пам'ятуя, що крок сітки d – це відстань між сусідніми вузлами. Точка з номером 0 – початок координат.

Підставимо тепер координати відповідних вузлів в першу формулу (2.2), і знайдемо суми:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 = \frac{f_1 * d + f_2 * 0 + f_3 * (-d) + f_4 * 0}{d^2 + 0 + (-d)^2 + 0} = \frac{(f_1 - f_3) * d}{2d^2}.$$

Після скорочення маємо $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 = \frac{f_1 - f_3}{2d}$;

Аналогічно $\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_0 = \frac{f_1 * 0 + f_2 * d + f_3 * 0 + f_4 * (-d)}{0 + d^2 + 0 + (-d)^2} = \frac{(f_2 - f_4) * d}{2d^2}.$

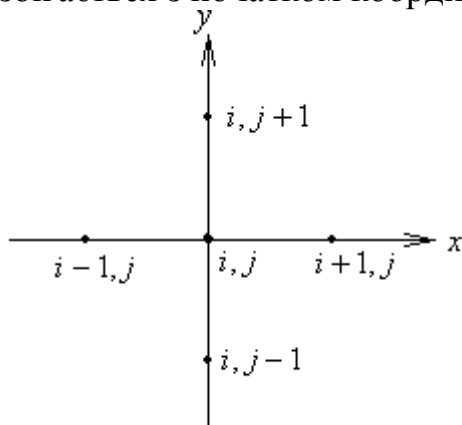
Після скорочення отримаємо $\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_0 = \frac{f_2 - f_4}{2d}$;

І нарешті, для f_0 маємо $f_0 = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}{4}$, тобто значення f в початку координат являє собою середнє арифметичне із значень метеовеличин f в оточуючих вузлах.

Зручно ввести безрозмірні координати: по осях $x - i$; по осі $y - j$, де $i = \frac{x}{\partial x}$, а $j = \frac{y}{\partial y}$. Координати сусідніх вузлів відрізняються на одиницю.

Дійсно, якщо координата точки дорівнює $x + \partial x$, то відповідна безрозмірна координата буде така $\frac{x + \partial x}{\partial x} = \frac{x}{\partial x} + \frac{\partial x}{\partial x} = i + 1$.

Це зручно показати на рисунку (2.4), де точка розрахунку, яка завжди збігається з початком координат, має координати i, j .



Відповідно до шаблону на рисунку 2. 4 формули для розрахунку перших похідних та f_0 матимуть вигляд:

$$\left(\frac{\tilde{d}f}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2d}; \quad \left(\frac{\tilde{d}f}{\partial y}\right)_{i,j} = \frac{f_{i,j+1} - f_{i,j-1}}{2d};$$

$$f_0 = \frac{1}{4}(f_{i+1,j} + f_{i,j+1} + f_{i-1,j} + f_{i,j-1})$$

Рис.2.4. Чотирьохточковий шаблон для розрахунку похідних (безрозмірні координати)

Для других похідних формули мають вигляд:

$$\begin{array}{l}
\text{в розмірних координатах} \\
\text{в безрозмірних координатах}
\end{array}
\left\{ \begin{array}{l}
\left(\frac{d^2 \tilde{f}}{\partial x^2} \right)_{i,j} \approx \frac{1}{d^2} (f_1 + f_3 - 2f_0) \\
\left(\frac{d^2 \tilde{f}}{\partial y^2} \right)_{i,j} \approx \frac{1}{d^2} (f_2 + f_4 - 2f_0) \\
\left(\frac{d^2 \tilde{f}}{\partial x^2} \right)_{i,j} \approx \frac{1}{d^2} (f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2f_{i,j}) \\
\left(\frac{d^2 \tilde{f}}{\partial y^2} \right)_{i,j} \approx \frac{1}{d^2} (f_{i,j+1} + f_{i,j-1} - 2f_{i,j})
\end{array} \right. ;$$

Для двовимірного лапласіана, який є сума похідних $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ і $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ скінченнорізнцеве представлення має вигляд

$$(\nabla^2 \tilde{f})_0 \approx (\Delta \tilde{f})_0 \approx \frac{1}{d^2} (f_1 + f_2 + f_3 + f_4 - 4f_0)$$

або в безрозмірних координатах

$$(\nabla^2 \tilde{f})_{i,j} \approx (\Delta \tilde{f})_{i,j} \approx \frac{1}{d^2} (f_{i+1,j} + f_{i,j+1} + f_{i-1,j} + f_{i,j-1} - 4f_{i,j}),$$

де d – крок сітки, ∇^2 або $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ - двовимірний оператор Лапласа;

знак \sim означає скінченнорізнцеве представлення похідних та лапласіанів.

Порядок виконання роботи

1. Для запису вихідної інформації (поля H_p – висоти ізобаричної поверхні, U , V – складових швидкості вітру на поверхні H_p) треба побудувати дві симетричні сітки точок розміром 7×7 вузлів (розмір кроків на осях x та y однаковий – 4 клітки у зошиті). Одна сітка використовується для запису висоти ізобаричної поверхні в декаметрах (тобто метри треба перевести в декаметри шляхом ділення на 10 і округлення до цілих значень); у вузли другої сітки записується значення U і V (біля кожного вузла буде дві величини; наприклад, U – вище вузла сітки, а V – нижче; можна записувати їх різними кольорами для зручності).

2. Для запису похідних $\frac{\partial v}{\partial x}$; $\frac{\partial u}{\partial y}$ треба побудувати сітку розміром 5×5 вузлів, оскільки у вузлах, що знаходяться на межах області розрахунку, похідні не розраховуються; таку сітку слід будувати і для запису лапласіанів H .

3. За даними похідних розрахувати фактичний, тобто реальний вихор швидкості Ω_p , а з використанням лапсасіанів H – геострофічний вихор швидкості вітру Ω_g .

4. Записати фактичний та геострофічний вихор у внутрішні вузли сітки, де представлено поле H .

5. Для аналізу отриманих результатів, поле H треба обробити, тобто провести ізогіпси через чотири декаметри і провести нульові ізолінії для геострофічного і фактичного вихору, щоб відділити області з додатними і від'ємними значеннями цих величин [2] – с.76-80; [3] – с. 65-68.

Рекомендації до виконання завдання № 2.

Вихідна інформація для виконання завдання № 2 розміщена в Додатку Б. Номер варіанта відповідає останній цифрі номера залікової книжки. Область розрахунку для варіантів 0, 2, 4, 6, 8 обмежена паралелями $40-55^0$ пн. ш. і меридіанами $15-30^0$ сх.д., тобто сіткова область розрахунку складає 7×7 вузлів сітки. Для варіантів з номерами 1, 3, 5, 7, 9 розрахунки виконуються для області $40-55^0$ пн. ш. і $25-40^0$ сх.д.

Вихідна інформація, яка представлена в Додатку Б включає дані об'єктивного аналізу полів H_p (висоти ізобаричної поверхні P в метрах); U і V (зональної та меридіональної складових швидкості вітру $m \cdot s^{-1}$). Область, в якій задана вихідна інформація, обмежена з півночі та півдня паралелями 35 і 55^0 відповідно, а з заходу та сходу меридіанами 15 і 45^0 сх.д. або $42,5$ сх.д.

Для кожного варіанта виділяється область 7×7 вузлів сітки (в Додатку Б дані у вузлах географічної сітки представлені у вигляді таблиці на перетину паралелей та меридіанів; така сітка називається географічною). Відзначимо, що крок географічної сітки задається в градусах (в нашому випадку $\partial x = \partial y = 2,5^0$ по широті і довготі, але лінійні розміри кроків будуть неоднаковими).

Для спрощення розрахунків будемо вважати сітку квадратною з кроком $d=250$ м по осях x і y . Оскільки область розрахунків охоплює порівняно малу територію, для розрахунку параметра Коріоліса будемо використовувати тільки середню широту $\varphi=45^0$.

З використанням цих припущень робочі формули за схемою на рис. 2.2 для лапсасіанів набувають вигляду:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_0 \approx 0,2(v_1 - v_3) \cdot 10^{-5} c^{-1} ; \quad \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_0 \approx 0,2(u_2 - u_4) \cdot 10^{-5} c^{-1}$$

$$(\nabla^2 H)_0 = 1,6(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0) \cdot 10^{-10} m^{-1} .$$

Фактичний або реальний відносний вихор Ω_p розраховується з використанням розрахованих значень $\frac{\partial v}{\partial x}$ і $\frac{\partial u}{\partial y}$, тобто $(\Omega_g)_0 = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_0 - \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_0$; $O(\Omega_p) = 10^{-5}$.

Геострофічний вихор обчислюється з використанням розрахункових значень $\nabla^2 H$.

$$(\Omega_g)_0 = (\nabla^2 H) * 10^{-5} c^{-1}; O(\Omega_g) = 10^{-5}.$$

Остання формула набуває такого вигляду наступним чином:

$$\Omega_g = \frac{g}{l} \nabla^2 H; \text{ де } g=9,8 \text{ м} * c^{-2}; l=2 \sin \varphi = 2 * 7,29 * 10^{-5} c^{-1} \sin 45^\circ \approx 10 c^{-1},$$

$$\text{тобто } (\Omega_g)_0 = \frac{9,8 \text{ м} * c^{-2}}{10 * 10^{-5} c^{-1}} (\nabla^2 H) = (\nabla^2 H)_0 * 10^{-5}.$$

Оскільки $\nabla^2 H$ містить порядок 10^{-10} , то після підстановки значення $\nabla^2 H$ отримаємо порядок для $\Omega_g 10^{-5}$ (тому, що множник 10^{-10} , який входить до значення лапласіану, помножить на 10^5 ; відомо, що добуток $10^{-10} * 10^5 = 10^{-5}$).

Примітка: для розрахунків зручніше використовувати скінченнорізнцеве представлення похідних за схемою, яка зображена на рис. 2.2. Початок координат розміщується в точці (вузлі) розрахунку, тобто ця точка позначається номером 0, а дані беруться в точках з номерами 1, 2, 3, 4, які згідно зі схемою на рис. 2.2 знаходяться на координатних осях на відстані одного кроку від розрахункової точки.

Номер варіанту в Додатку Б відповідає останній цифрі номера залікової книжки.

Отже, розрахунки в практичному завданні № 2 виконуються з використанням робочих формул (2.8), (2.9), (2.10). Значення похідних $\frac{\partial v}{\partial x}$

$\frac{\partial u}{\partial y}$ записуються у вузли сітки 5x5, а значення фактичного та геострофічного вихору - у внутрішні вузли вихідної сітки для поля Н. Приклад розрахунків та розміщення результатів наведено в Додатку Г.

При аналізі отриманих результатів треба виконати такі дії:

- визначити географічний район дослідження за широтами та довготами області розрахунків; провести ізолінії $H = \text{const}$ через 4 дам;
- охарактеризувати поле тиску (Н) на ізобаричній поверхні та поле вітру (які напрямки переважають в області дослідження, які швидкості вітру: у яких межах вони змінюється; для вузлів з максимальними значеннями U або V побудувати вектор \vec{V});
- провести нульові ізолінії для Ω_p і Ω_g і зробити висновки щодо виконання геострофічного балансу. Якщо фактичний та геострофічний вихори мають однакові знаки і мало відрізняються за величиною, то геострофічна рівновага виконується; в протилежному випадку – не виконується (при розв'язанні задач для таких полів вітру геострофічне наближення використовувати неможливо).

Практичне завдання № 3. Оцінка якості чисельного прогнозу неперервних величин за допомогою графічних та статистичних методів.

Мета завдання ознайомити студентів з найбільш зручними методами оцінки якості чисельного прогнозу неперервних величин.

Порядок виконання завдання

1. З використанням графічного методу оцінити якість чисельного прогнозу температури за даними фактичних та прогностичних її значень.

2. Розрахувати деякі статистичні характеристики справджуваності чисельного прогнозу температури також за фактичними та прогностичними даними.

3. Зробити аналіз отриманих оцінок та висновки щодо якості чисельного прогнозу температури. [3] – с. 179-194.

Рекомендації до виконання завдання.

За даними, що розміщені в Додатку В побудувати графік: по осі x відкладаються фактичні значення температури, по осі y – прогностичні, але спочатку треба визначити діапазон зміни температури протягом місяця і вибрати масштаб, тобто відстань, яка буде відповідати 1°C . Масштаби по осях x та y повинні бути однаковими, тоді у випадку точного прогнозу всі точки будуть знаходитися на діагоналі. Точки ставляться на перетину прогностичних і фактичних значень температури.

Якщо більшість точок попадає в область, яка розташована вище діагоналі, чисельна модель дає систематичне перевищення фактичних значень, які відомі із даних спостережень. В протилежному випадку – прогностичні значення температури за чисельною моделлю будуть заниженими.

Згідно зі статистичними характеристиками треба розрахувати середньомісячну температуру повітря, середню помилку прогнозу, середню абсолютну помилку, середньоквадратичну та коефіцієнт кореляції.

1. Середня помилка прогнозу δ розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(T_{\phi})_i - (T_n)_i],$$

де N – кількість днів в місяці, i приймає значення від 1 до N .

2. Середня абсолютна помилка прогнозу отримується шляхом підсумування абсолютних різниць $|T_{\phi} - T_n|$ (всі різниці додатні) за всі дні місяця і поділення цієї суми на кількість днів в місяці. Формула для розрахунку цієї характеристики має вигляд:

$$\delta_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(T_{\phi})_i - (T_n)_i|.$$

3. Середня квадратична похибка розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(T_{\phi})_i - (T_n)_i]^2}$$

Формули показують, що у випадку ідеального (точного) прогнозу всі вказані помилки δ, δ_a, σ , будуть дорівнювати нулю. Від'ємні значення середньої помилки σ свідчать про те, що модель систематично завищує прогностичні значення температури, додатним величинам δ відповідає занижений прогноз будь-якої неперервної метеорологічної величини, зокрема, температури.

Помилка δ_a (завжди додатня) показує середнє відхилення прогнозу від точних, тобто фактичних значень, отриманих із спостережень. Чим більше відхилення, тим гірше прогноз.

Середня квадратична помилка σ може значно перевищувати помилку δ_a , якщо модель іноді допускає великі помилки.

4. Коефіцієнт кореляції між прогностичними і фактичними значеннями розраховується з використанням формули:

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(T_{\phi})_i - \bar{T}_{\phi}] * [(T_n)_i - \bar{T}_n]}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(T_{\phi})_i - \bar{T}_{\phi}]^2} * \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(T_n)_i - \bar{T}_n]^2}}$$

В цій формулі \bar{T}_{ϕ} і \bar{T}_n - середні за місяць значення фактичної і прогностичної температури. Для точного прогнозу r дорівнює 1. Відомо, що коефіцієнт кореляції змінюється в границях від -1 до +1. Від'ємні значення r свідчать про дуже низку якість чисельного прогнозу.

При виконанні цього завдання зручно побудувати таблицю для запису проміжних результатів розрахунків.

Таблиця 2.1. Результати оцінки якості чисельного прогнозу температури.
Місяць

Дата	T_{ϕ}	T_n	$T_{\phi} - T_n$	$ T_{\phi} - T_n $	$(T_{\phi} - T_n)^2$	$(T_{\phi} - \bar{T}_{\phi})$	$(T_n - \bar{T}_n)$	$(T_{\phi} - \bar{T}_{\phi})^2$	$(T_n - \bar{T}_n)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
...									
...									
...									

N=30 або 31									
$\sum_{i=1}^N$									

Сума перших двох колонок використовується для отримання середніх значень \bar{T}_ϕ та \bar{T}_n . Суми наступних трьох колонок необхідні для обчислення помилок δ , δ_a , σ . Суми колонок з номерами 7-10 використовуються для розрахунку коефіцієнта кореляції.

При аналізі результатів треба вказати значення отриманих характеристик прогнозу і зробити висновок щодо якості чисельного прогнозу температури. Слід також порівняти кількісні оцінки з результатами оцінки якості прогнозу за допомогою графічного методу.

3. ОРГАНІЗАЦІЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗНАНЬ.

Виконання контрольної роботи у міжсесійний період складається з відповідей на 3 запитання з теоретичного курсу і виконання двох практичних завдань з практичної частини курсу.

Оцінювання виконання з теоретичної частини контрольної роботи здійснюється за наступною шкалою:

20-19 балів – бездоганні вичерпні відповіді на поставлені запитання, оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

18-15 балів – відповіді в основному правильні, але не повні; оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

14-12 балів – відповіді неповні та оформлені зі значними відхиленнями від вимог;

< 12 балів – відповіді в основному неправильні.

Контрольна робота виконується на комп'ютері українською мовою і в електронному вигляді висилається за адресою: meteo@odeku.edu.ua. Строки представлення окремих завдань наведено в Графіку вивчення дисципліни та виконання змістовних модулів і завдань міжсесійної контрольної роботи.

Максимальний обсяг роботи становить 20 сторінок машинописного тексту без розрахункової частини.

При відповіді на теоретичні питання контрольної роботи студент не повинен списувати відповіді з підручників, навчальних посібників та методичних вказівок, а зобов'язаний провести аналіз отриманої інформації і тільки тоді давати відповідь. Після відповіді на кожне запитання слід вказати

джерела, якими студент користувався при підготовці відповіді (при необхідності слід вказати Internet-ресурси).

При виконанні практичних завдань необхідно всі звітні матеріали представити в зручній для запису і перевірки формі. Так, при виконанні першого практичного завдання треба представити порядки всіх членів рівнянь руху і нерозривності, а потім записати їх у спрощеному вигляді і дати цим рівнянням фізичне тлумачення.

При виконанні практичного завдання № 2 всі розраховані величини треба обов'язково представити у вузлах квадратної сітки точок, а не у вигляді таблиць. Обробка вихідних та розрахованих полів виконується відповідно до методичних вказівок (див. розділ 2.2).

При виконанні практичного завдання № 3 всі проміжні результати при розрахунку статистичних характеристик справджуваності чисельного прогнозу температури обов'язково треба представити у вигляді таблиці, форма якої розміщена в розділі 2.2.

Практична частина міжсесійної контрольної роботи складається з виконання трьох завдань: «Кількісний аналіз рівнянь ГТД», «Використання сіткових методів для розв'язання задач чисельного прогнозу» та «Оцінка якості чисельного прогнозу неперервних величин».

Результати аналізу рівнянь ГТД, розрахованих характеристик метеорологічних полів та оцінок якості чисельних прогнозів представляються в контрольній роботі на українській мові в машинописному вигляді згідно з відповідними умовами, які вказані вище.

Неможна в тексті використовувати скорочення, які не є загальноприйнятими, а також аббревіатури без попереднього пояснення.

Невиконання вказаних навчально-методичних вимог є підставою для повернення частини контрольної роботи студенту на доопрацювання. Після відповідних доробок частина контрольної роботи може біти подана для повторної перевірки і остаточної оцінки викладача.

Поточна та підсумкова оцінка рівня знань студентів здійснюється за модульною системою. Розділи дисципліни розділені на 3 модулі по теоретичному курсу та 3 модулі по практичному.

В якості поточного контролю лекційних модулів у період сесії застосовується проведення тестової контрольної роботи (КР) та усного опитування (УО). Студент повинен відповісти на 2 запитання. Перше запитання стосується базових знань та вмінь. Друге запитання стосується теми поточної лекції.

Успішність виконання практичних модулів ЗМ-ПП1-ЗМ-П3 оцінюється при виконанні трьох практичних завдань, теми яких вказані вище.

Під час усного опитування на практичних заняттях за темами «Спрощення рівнянь ГТД» та «Скінченнорізницева апроксимація похідних» студент повинен відповісти на 2 запитання для отримання відповідних балів.

В період сесії враховується присутність студента на заняттях за розкладом, як округлений відсоток присутності, поділений на 10.

Модульно-накопичувальна система включає:

- систему оцінювання самостійної роботи студента у міжсесійний період (ОМ);
- систему оцінювання СРС при проведенні практичних модулів дисципліни під час заліково-екзаменаційної сесії (ОЗЕ);
- письмовий іспит (ОПК);
- систему накопичувальної підсумкової оцінки засвоєння студентом навчальної дисципліни (ПО).

Накопичена підсумкова оцінка (ПО) засвоєння навчальної дисципліни розраховується за формулою:

$$ПО = 0,5 \text{ ОПК} + 0,25 (\text{ОЗЕ} + \text{ОМ})$$

де ОПК – іспит, ОЗЕ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливих 100 балів) заходів контролю СРС під час проведення аудиторних занять: ОМ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливих 100 балів) заходів контролю СРС у міжсесійний період.

Студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю у вигляді письмового іспиту, якщо він виконав всі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни (міжсесійну контрольну роботу) не менше, ніж на 60% (60 балів), та у яких накопичена підсумкова оцінка дорівнює або більша за 50% (100 балів).

Іспит з дисципліни проводиться у письмовій формі з використанням екзаменаційних білетів. Екзаменаційний білет містить десять запитань закритого типу (це запитання з базової компоненти), з запропонованими відповідями, з яких вибирають одну правильну та два запитання відкритого типу з наданням вільної відповіді на основні питання лекційного курсу. Загальна екзаменаційна оцінка розраховується за формулою:

$$ОПК = 0,6 * \frac{n_1 * 100}{10} + 0,4 * \frac{n_2 + n_3}{2} * 100 ,$$

де n_1 – кількість правильних відповідей на запитання закритого типу; n_2 , n_3 – кількість балів у відсотках за відповіді на запитання відкритого типу (максимальна сума балів за повну відповідь складає 100 балів або 100 відсотків).

Наприклад, якщо студент правильно відповів на 8 запитань із 10, а за відповіді на запитання 2, 3 отримав відповідно 80 та 60 балів, то екзаменаційна оцінка у відсотках буде дорівнювати

$$ОПК = 0,6 * \frac{8 * 100}{10} + 0,4 * \frac{80 + 60}{2} = 49 + 28 = 76\% - \text{добре.}$$

3.1. Загальні рекомендації та оцінювання завдань міжсесійної контрольної роботи.

Для заочної форми навчання передбачено індивідуальне завдання (ІЗЕ) у вигляді виконання міжсесійної контрольної роботи, яка складається з відповідей на запитання з теоретичного курсу та практичної частини.

Перед виконанням контрольної роботи слід вивчити теоретичний матеріал за допомогою навчальної та методичної літератури. Наведені у методичних вказівках питання для самоконтролю допоможуть перевірити засвоєння теоретичного матеріалу.

В разі, якщо при вивченні курсу у студента виникли питання, нечітке розуміння отриманих завдань, необхідно використовувати іншу навчальну та методичну літературу. Якщо виникли труднощі, які студент не в змозі подолати самостійно, потрібно звернутися до викладача, який вів установчі заняття за адресою: м. Одеса, вул. Львівська, 15, кафедра метеорології та кліматології, або meteo@odeku.edu.ua.

Виконання контрольної роботи у міжсесійний період складається з відповідей на запитання з теоретичного курсу. Всього 3 запитання по одному з першого, другого та третього розділів (максимальна кількість балів – 60). Виконання практичної частини міжсесійної контрольної роботи складається з аналізу рівнянь ГТД з метою їх спрощення та оцінки якості чисельних прогнозів неперервних величин (максимальна кількість балів – 40).

Оцінювання виконання завдань теоретичної частини контрольної роботи здійснюється за наступною шкалою:

40 балів – бездоганні вичерпні відповіді на поставлені запитання, оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

30 балів – відповіді в основному правильні, але не повні; оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

24 бали – відповіді неповні та оформлені зі значними відхиленнями від вимог;

0 балів – відповіді в основному неправильні.

Оцінювання виконання завдань практичної частини контрольної роботи здійснюється за наступною шкалою:

20 балів – вірно виконане завдання, у повному об'ємі, оформлене згідно з вимогами чинних нормативних документів;

15 балів – відповіді в основному правильні, але не повні; оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

12 балів – відповіді неповні та оформлені зі значними відхиленнями від вимог;

0 балів – відповіді неправильні.

Основна література

1. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди / Підручник. – Одеса, «Екологія», 2008. – 338 с.
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.
3. Хоменко Г.В., Хохлов В.М., Бондаренко В.М. Практикум з гідродинамічних методів прогнозу погоди / Навчальний посібник. – Одеса: «ТЕС», 2012. - 206 с.
4. Хоменко Г.В., Бондаренко В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди / Конспект лекцій. – Одеса, 2013. – 200 с. (електронний варіант).
5. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні моделі прогнозу погоди і сіткові методи їх реалізації / Навчальний посібник, 2-е вид. – Одеса, 2015. – 202 с. (електронний варіант).
6. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з дисципліни «Хвильові процеси в атмосфері». – Одеса, 2005. – 36 с.

Додаткова література

7. Белов П.Н., Борисенков Б.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
8. Гандин Л.С., Дубов А.С. Численные методы краткосрочного прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 427 с.
9. Матвеев Л.Г. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 607 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1. Порядок значень метеорологічних величин та їх похідних
(по Фридману і Гессельбергу)

Величина	Значення	$\frac{\partial}{\partial s}$	$\frac{\partial}{\partial z}$	$\frac{\partial}{\partial t}$	$\frac{\partial^2}{\partial s^2}$
$v_s(u, v)$	$10^0 - 10^1$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-10} - 10^{-9}$
W	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-7} - 10^{-6}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-6} - 10^{-5*}$	$10^{-10} - 10^{-9*}$
P	10^2	$10^{-7} - 10^{-6}$	10^{-2}	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-12} - 10^{-11}$
α	10^3	$10^{-5} - 10^{-4}$	10^{-1}	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-10} - 10^{-9}$
T	10^2	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-10} - 10^{-9}$

Величина	$\frac{\partial^2}{\partial z^2}$	$\frac{\partial^2}{\partial s \partial z}$	$\frac{\partial^2}{\partial t^2}$	$\frac{\partial^2}{\partial s \partial t}$	$\frac{\partial^2}{\partial z \partial t}$
$v_s(u, v)$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-6}$
W	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-10} - 10^{-9*}$	$10^{-10} - 10^{-9*}$	$10^{-11} - 10^{-10*}$	$10^{-9} - 10^{-8}$
P	10^{-6}	$10^{-10} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^{-10} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-8}$
α	10^{-5}	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^{-7} - 10^{-6}$
T	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^{-7} - 10^{-6}$

Примітки: 1. $\frac{\partial}{\partial s}$ - похідна по горизонталі, $\frac{\partial}{\partial s} = \left(\frac{\partial}{\partial x}; \frac{\partial}{\partial y} \right)$

2. Позначка (*) свідчить про те, що нижче 500 м величина на один-два порядки менше.

Таблиця А.2. Характерні значення скінченнорізницевих похідних метеорологічних величин в шарі від підстильної поверхні до 5 км (по Юдіну). Інтервал за часом 12 год. Крок по горизонталі 500 км, крок по вертикалі 2.5 км (система МТС-градус Цельсія)

Величина	$\frac{\partial}{\partial s}$	$\frac{\partial}{\partial t}$	$\frac{\partial}{\partial z}$	$\frac{\partial^2}{\partial s^2}$
u, v	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-11}$
P	$8 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$10^{-3} (10^{-2})$	$1,5 \cdot 10^{-12}$
T	$7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$10^{-3} (6 \cdot 10^{-3})$	$2 \cdot 10^{-11}$
ρ	$3 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$10^{-8} (10^{-7})$	$8 \cdot 10^{-17}$
W	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	
Ω_z	$4 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-10}$	$7 \cdot 10^{-9}$	

Продовження табл. А.2.

Величина	$\frac{\partial^2}{\partial s \partial t}$	$\frac{\partial^2}{\partial s \partial z}$	$\frac{\partial^2}{\partial t^2}$	$\frac{\partial^2}{\partial z \partial t}$	$\frac{\partial^2}{\partial z^2}$
u, v	$3 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
P	$1,5 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$10^{-7} (10^{-6})$
T	$2 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-7}$
ρ	$8 \cdot 10^{-16}$	$6 \cdot 10^{-15}$	10^{-14}	$6 \cdot 10^{-14}$	$10^{-12} (10^{-11})$

ДОДАТОК Б

Варіант 0

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel phi 700 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 H_{700}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	3118	3110	3100	3089	3081	3076	3074	3074	3073	3070	3062	3052	3037
52.5	3110	3106	3097	3085	3074	3067	3065	3066	3068	3068	3064	3056	3045
50	3108	3112	3110	3100	3088	3078	3073	3073	3075	3076	3075	3071	3064
47.5	3106	3122	3128	3123	3111	3100	3092	3089	3087	3087	3085	3083	3081
45	3109	3131	3143	3141	3130	3118	3108	3101	3095	3090	3086	3085	3087
42.5	3127	3147	3155	3150	3139	3127	3116	3106	3096	3086	3080	3080	3086
40	3159	3168	3165	3152	3137	3125	3116	3107	3095	3083	3076	3078	3087
37.5	3188	3162	3166	3146	3129	3119	3113	3106	3096	3086	3080	3083	3093
35	3201	3184	3162	3140	3125	3116	3112	3107	3100	3094	3092	3097	3105

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel u 700 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 u_{700}

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-4.50	-4.10	-3.90	-3.90	-3.90	-4.00	-3.80	-3.40	-2.70	-2.00	-1.20	-0.60
52.50	-2.10	-0.40	1.10	1.80	1.80	1.40	0.90	0.40	0.40	0.80	1.50	2.70
50.00	0.30	2.90	5.10	6.30	6.40	5.70	4.60	3.50	2.70	2.40	2.70	3.80
47.50	2.30	4.60	6.30	7.10	7.20	6.50	5.60	4.30	3.10	2.10	1.70	2.10
45.00	4.60	5.20	5.30	5.00	4.60	4.30	4.00	3.30	2.10	0.80	-0.20	-0.30
42.50	7.60	5.80	3.70	1.80	0.90	0.90	1.30	1.40	0.80	-0.20	-1.20	-1.40
40.00	9.50	5.60	1.80	-0.80	-2.00	-2.00	-1.20	-0.20	0.30	0.30	1.00	-11.00
37.50	7.80	3.10	-0.30	-2.30	-2.90	-2.60	-1.70	-0.30	1.30	2.90	4.00	4.30
35.00	2.60	-0.50	-1.70	-1.50	-0.80	-0.10	0.60	1.70	3.30	5.40	7.50	8.50

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel v 700 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 v_{700}

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-3.90	-5.30	-5.90	-5.50	-4.10	-2.30	-0.90	-0.50	-1.10	-2.70	-4.60	-6.40
52.50	-1.60	-3.40	-5.00	-5.70	-4.90	-3.00	-0.80	0.50	0.30	-1.10	-3.10	-5.00
50.00	2.70	0.70	-2.40	-4.80	-5.30	-3.90	-1.70	1.00	0.50	-0.30	-1.70	-3.00
47.50	7.30	4.80	0.40	-3.60	-5.50	-5.00	-3.30	-1.70	-1.00	-0.90	-1.10	-1.10
45.00	9.70	6.50	1.30	-3.30	-5.60	-5.60	-4.60	-3.80	-3.30	-2.50	-1.10	0.60
42.50	8.90	4.70	-0.80	-4.60	-5.80	-5.40	-5.00	-5.30	-5.50	-4.30	-1.40	2.10
40.00	5.40	0.00	-5.00	-7.00	-6.10	-4.60	-4.40	-5.60	-6.60	-5.30	-1.70	2.80
37.50	0.10	-5.60	-9.00	-8.90	-6.20	-3.80	-3.50	-4.90	-5.80	-4.50	-1.10	2.80
35.00	-5.50	-9.60	-10.80	-8.90	-5.60	-3.30	-2.80	-3.50	-3.60	-1.80	1.00	3.00

Варіант 1,2

22 Jul 2014 *H₇₀₀*

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	3147	3139	3130	3122	3114	3108	3103	3099	3096	3093	3089	3080	3066
52.5	3127	3121	3115	3108	3100	3093	3086	3082	3081	3083	3084	3082	3074
50	3104	3101	3100	3097	3093	3086	3080	3075	3076	3079	3085	3087	3085
47.5	3078	3080	3086	3092	3094	3092	3088	3085	3086	3090	3094	3097	3096
45	3058	3066	3079	3093	3103	3106	3105	3104	3104	3106	3108	3108	3107
42.5	3052	3064	3082	3101	3113	3118	3118	3118	3117	3116	3115	3113	3111
40	3066	3079	3097	3113	3123	3126	3124	3122	3120	3116	3112	3110	3111
37.5	3101	3110	3122	3131	3133	3131	3127	3123	3118	3112	3107	3105	3109
35	3147	3148	3149	3148	3144	3138	3131	3125	3119	3113	3109	3108	3112

22 Jul 2014 *U₇₀₀*

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-7.20	-7.00	-6.80	-6.60	-6.70	-6.80	-6.80	-6.40	-5.40	-3.90	-2.10	-0.50
52.50	-7.40	-6.80	-5.80	-5.00	-4.50	-4.30	-4.40	-4.20	-3.60	-2.50	-1.10	0.50
50.00	-6.50	-5.30	-3.50	-1.70	-0.30	0.40	0.70	0.80	1.10	1.40	1.90	2.40
47.50	-5.30	-3.70	-1.50	0.80	2.60	3.70	4.30	4.70	4.90	4.80	4.40	4.00
45.00	-3.60	-2.40	-0.50	1.30	2.60	3.40	4.00	4.50	4.80	4.70	4.00	3.30
42.50	0.70	1.20	1.80	2.30	2.30	2.10	2.00	2.20	2.30	2.00	1.20	0.50
40.00	8.30	7.70	6.70	5.30	3.80	2.30	1.30	0.90	0.60	1.00	-0.70	-1.30
37.50	15.30	13.30	10.50	7.50	4.90	2.90	1.50	0.80	0.70	0.80	0.90	0.60
35.00	16.70	13.30	9.20	5.50	3.00	1.60	0.80	0.50	1.00	2.40	4.10	5.10

22 Jul 2014 *V₇₀₀*

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-4.40	-5.10	-5.30	-5.10	-4.50	-3.70	-2.70	-2.00	-1.70	-2.20	-3.50	-5.60
52.50	-4.20	-4.20	-4.20	-4.10	-4.00	-3.60	-2.60	-1.30	-0.20	0.30	-0.40	-2.30
50.00	-3.40	-2.40	-1.90	-2.10	-2.80	-3.30	-2.80	-1.50	0.30	1.40	1.40	0.00
47.50	-1.80	0.70	1.80	1.20	-0.60	-2.20	-2.60	-1.60	0.00	1.20	1.40	0.50
45.00	0.20	4.10	5.90	4.90	2.30	-0.30	-1.40	-1.10	-0.20	0.50	0.60	1.00
42.50	1.50	6.30	8.20	6.90	3.90	1.10	-0.30	-0.50	-0.40	-0.50	-0.50	-0.30
40.00	1.80	6.10	7.40	5.80	3.00	0.70	-0.40	-0.90	-1.50	-2.10	-2.00	-0.50
37.50	1.00	3.50	3.70	2.10	1.00	0.1	-1.1	-1.70	-2.30	-3.20	-3.70	-3.10
35.00	-1.30	-0.90	-1.30	-2.10	-2.70	-2.30	-2.80	-3.20	-3.60	-3.50	-2.40	-0.70

Варіант 3,4

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel phi 300 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 H_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	9468	9438	9404	9373	9350	9335	9328	9323	9317	9304	9285	9260	9230
52.5	9506	9486	9452	9414	9378	9352	9336	9330	9329	9327	9320	9307	9285
50	9531	9533	9515	9483	9446	9414	9391	9379	9373	9370	9366	9359	9348
47.5	9523	9555	9565	9553	9528	9501	9474	9453	9435	9423	9414	9409	9406
45	9497	9553	9586	9594	9583	9562	9535	9509	9484	9466	9457	9458	9467
42.5	9501	9561	9596	9606	9595	9573	9547	9523	9505	9497	9503	9519	9542
40	9560	9600	9617	9609	9585	9557	9534	9521	9522	9536	9562	9595	9629
37.5	9643	9655	9647	9621	9587	9558	9543	9547	9567	9599	9637	9675	9707
35	9699	9690	9669	9640	9612	9594	9594	9611	9641	9676	9709	9736	9758

21 Jul 2014 U_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	11.1	12.6	11.6	8.6	4.6	1	-0.9	-0.6	1.6	5.1	8.6	10.9	11.3
52.5	13.2	18	20.1	19.6	17.2	14	11.1	9.3	8.8	9.8	11.9	14.3	16.5
50	8.4	16.1	22	25.6	26.9	26.1	23.6	20.2	16.8	14.4	13.8	15.3	18.5
47.5	0.9	8.4	15.3	20.6	23.7	24.6	23.2	20.2	16.7	14.1	13.6	15.7	19.8
45	0.00E+00	3.7	7	9.2	10.1	9.9	9.3	8.6	8.8	10.5	13.9	18.8	24.4
42.5	9.5	7.5	5	1.8	-1.4	-3.5	-3.5	-0.9	4.2	10.8	18	25	31
40	20.7	14.4	7.9	2	-2.4	-4.2	-2.4	2.9	10.1	17.8	24.3	29.2	32.8
37.5	22	14.7	8.8	5.2	4.2	6	10.2	15.8	21.1	24.7	26.2	26.3	26.2
35	12.9	8.2	6.4	7.9	12	17.3	22.3	25.7	26.4	24.5	21.1	17.8	15.8

21 Jul 2014 V_{300}

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-10.50	-13.70	-14.10	-11.90	-8.20	-4.60	-2.30	-2.00	-3.40	-5.80	-8.30	-10.40
52.50	-2.90	-9.60	-14.20	-15.50	-13.80	-10.20	-6.30	-3.50	-2.10	-2.20	-3.50	-5.70
50.00	7.10	-1.30	-9.20	-14.10	-15.50	-14.30	-11.90	-9.20	-6.70	-4.30	-2.60	-1.90
47.50	17.40	9.40	0.20	-7.50	-12.50	-15.20	-16.40	-16.00	-13.60	-9.20	-3.70	1.20
45.00	24.30	17.50	7.70	-1.70	-9.10	-14.50	-17.90	-18.60	-15.80	-9.40	-1.00	6.70
42.50	23.90	17.50	7.50	-2.30	-9.70	-14.20	-15.80	-14.30	-9.20	-1.10	8.00	15.10
40.00	15.60	9.20	-0.20	-8.60	-13.20	-13.50	-10.20	-4.40	3.20	11.10	17.90	21.90
37.50	3.40	-2.10	-9.00	-13.90	-14.20	-9.80	-2.10	6.30	13.70	18.90	21.80	22.30
35.00	-6.30	-9.50	-12.40	-12.90	-9.70	-2.70	5.60	12.70	16.80	18.10	17.80	17.20

Варіант 5,6

23 Jul 2014 H_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	9408	9390	9380	9379	9382	9386	9386	9381	9370	9357	9345	9337	9337
52.5	9367	9354	9355	9365	9381	9396	9405	9406	9400	9388	9373	9358	9348
50	9395	9387	9390	9401	9416	9431	9443	9451	9453	9448	9437	9419	9399
47.5	9442	9430	9425	9427	9436	9448	9464	9482	9500	9513	9515	9505	9486
45	9455	9431	9418	9416	9425	9444	9471	9504	9537	9565	9581	9584	9575
42.5	9441	9411	9398	9404	9427	9462	9503	9544	9580	9607	9625	9634	9638
40	9453	9428	9424	9443	9481	9527	9573	9609	9633	9647	9656	9666	9678
37.5	9519	9505	9509	9532	9570	9612	9647	9670	9681	9685	9690	9702	9721
35	9608	9604	9610	9627	9651	9676	9695	9706	9712	9719	9730	9747	9770

23 Jul 2014 U_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	-22.4	-21.1	-17.6	-12.7	-7.4	-2.8	0.5	2.3	2.8	2.3	1	-0.7	-2.3
52.5	-3.8	-2	1.1	4.9	8.7	11.7	14	15.6	16.5	16.5	15.2	12.1	7.7
50	11.6	11	10.4	10.2	10.3	11.1	12.9	15.8	19.5	23.2	25.4	25.1	22.4
47.5	9	5.8	2.6	0.4	-0.3	0.9	4	8.8	14.6	20.5	25.6	28.9	30.2
45	-2	-4.7	-6.2	-5.8	-3.3	0.9	5.5	9.9	13.4	16.4	19.3	22.7	26.4
42.5	-2.1	-1.8	0.4	4.6	10.3	15.8	19.6	20.4	18.6	15.7	13.9	14.6	17.9
40	11.9	14.5	18.4	23	27.2	29.8	29.6	26.4	21.2	16	12.6	12.3	14.8
37.5	25.4	28.2	30.9	32.4	32.1	29.5	25.1	20.2	16.1	13.9	13.8	15.1	17.3
35	26.5	28.8	30	29	25.6	20.4	14.8	10.9	9.7	11.2	14	16.1	16.7

23 Jul 2014 V_{300}

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-9.80	-6.70	-3.00	-0.20	0.70	-0.30	-2.50	-4.80	-6.00	-5.40	-3.10	0.40
52.50	-7.10	-1.50	4.20	7.90	8.60	6.60	3.00	-0.80	-3.70	-5.20	-5.10	-3.50
50.00	-5.80	-0.40	5.00	8.70	9.70	8.50	6.20	3.70	0.90	-2.00	-5.00	-7.00
47.50	-8.20	-4.80	-0.20	3.80	6.60	8.50	9.60	9.90	8.50	4.90	-0.40	-5.70
45.00	-11.90	-9.40	-4.40	1.30	6.60	11.00	14.20	15.50	14.30	10.30	4.80	-0.90
42.50	-13.00	-9.20	-2.50	5.20	11.80	16.10	17.60	16.40	13.20	9.30	5.80	3.50
40.00	-10.50	-4.80	3.40	11.60	17.30	18.80	16.40	11.70	6.70	3.70	3.70	6.00
37.50	-6.40	-1.00	7.14	14.00	16.90	15.50	10.80	5.20	1.30	0.70	3.60	8.40
35.00	-2.20	2.90	8.10	11.20	11.00	8.20	4.40	1.70	1.30	3.40	7.00	10.70

Вариант 7

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel phi 400 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 *H₄₀₀*

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	7441	7420	7395	7372	7353	7341	7337	7335	7331	7320	7303	7279	7250
52.5	7459	7446	7422	7393	7364	7343	7332	7330	7332	7332	7325	7311	7290
50	7471	7477	7465	7440	7409	7382	7366	7360	7360	7361	7359	7352	7341
47.5	7465	7493	7502	7493	7471	7447	7428	7415	7406	7400	7394	7389	7385
45	7451	7496	7522	7527	7518	7499	7480	7461	7444	7429	7419	7416	7418
42.5	7464	7508	7536	7543	7535	7518	7497	7475	7456	7441	7436	7441	7454
40	7515	7545	7558	7552	7535	7512	7488	7468	7454	7450	7457	7476	7501
37.5	7579	7588	7581	7561	7532	7502	7479	7465	7462	7472	7492	7521	7552
35	7620	7611	7592	7564	7532	7505	7489	7485	7494	7513	7539	7568	7596

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel u 400 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 *u (зональная скорость) P=400 mb*

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	4.30	5.40	4.80	2.80	0.00	-2.40	-3.60	-3.20	-1.30	1.60	4.30	6.30
52.50	5.40	9.10	11.20	11.40	10.00	7.90	5.90	4.80	4.80	6.10	8.30	10.90
50.00	3.40	9.30	14.30	17.70	19.20	18.80	17.10	14.70	12.40	11.00	10.90	12.30
47.50	0.90	6.30	11.70	16.20	19.10	20.10	19.10	16.70	13.60	11.10	9.80	10.30
45.00	2.80	5.00	7.20	9.20	10.50	10.80	10.10	8.80	7.40	6.80	7.30	9.00
42.50	10.40	8.10	5.70	3.50	1.60	0.00	0.7000	-0.40	1.20	4.00	7.70	11.70
40.00	17.60	11.80	6.20	1.40	-2.30	-4.30	-4.30	-2.30	1.50	6.30	11.50	16.20
37.50	17.20	10.10	4.20	0.00	-2.00	-1.90	0.20	3.70	7.90	11.90	15.40	18.20
35.00	9.20	3.60	-0.10	-1.10	0.50	4.00	8.50	12.60	15.40	16.50	16.60	16.50

NOAA NCEP-NCAR CDAS-1 DAILY Intrinsic PressureLevel v 400 mb[X Y | P T]

21 Jul 2014 *v₄₀₀*

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-8.70	-11.30	-11.70	-10.00	-6.90	-3.80	-1.70	-1.70	-3.40	-6.20	-9.10	-11.30
52.50	-3.00	-7.80	-11.30	-12.30	-10.70	-7.40	-3.80	-1.40	-0.70	-1.90	-4.30	-6.90
50.00	5.30	-0.60	-6.70	-10.90	-12.00	-10.30	-7.10	-4.00	-1.90	-1.20	-1.70	-3.00
47.50	13.40	7.90	0.60	-5.90	-9.80	-10.80	-9.90	-8.00	-5.80	-3.70	-1.90	-0.50
45.00	18.20	13.60	6.10	-1.30	-6.80	-10.00	-11.30	-11.00	-9.10	-5.80	-1.80	2.00
42.50	18.00	13.60	6.20	-1.30	-6.90	-10.50	-12.10	-11.50	-8.80	-4.20	1.30	6.40
40.00	12.80	7.90	0.60	-6.10	-10.60	-12.40	-11.90	-9.30	-4.80	1.10	7.20	12.10
37.50	4.60	-0.30	-6.80	-12.00	-14.10	-13.00	-9.40	-4.30	1.60	7.60	13.00	16.50
35.00	-3.20	-7.10	-11.60	-14.30	-13.80	-10.00	-4.30	1.80	7.20	11.80	15.50	17.70

Варіант 8

22 Jul 2014 *h₄₀₀*

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	7425	7404	7386	7373	7364	7356	7347	7336	7325	7315	7308	7302	7295
52.5	7441	7421	7406	7394	7385	7375	7363	7350	7337	7327	7319	7312	7303
50	7452	7442	7435	7430	7424	7414	7400	7385	7371	7360	7352	7344	7335
47.5	7424	7427	7437	7448	7455	7455	7447	7436	7425	7415	7406	7397	7386
45	7368	7381	7407	7440	7468	7486	7493	7490	7484	7475	7465	7454	7442
42.5	7338	7353	7390	7436	7480	7511	7527	7529	7523	7513	7503	7493	7485
40	7377	7389	7422	7466	7507	7534	7545	7540	7529	7517	7510	7508	7512
37.5	7471	7477	7498	7526	7548	7557	7549	7533	7516	7507	7509	7522	7542
35	7564	7566	7575	7585	7586	7574	7552	7529	7515	7515	7530	7555	7584

22 Jul 2014 *u₄₀₀*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50	
1 55.00	1.00	-1.90	-1.40	-1.50	-1.30	-1.10	-1.10	-1.40	-1.70	-1.80	-1.80	-1.70	
2 52.50	4.30	5.70	7.00	8.10	8.70	8.70	8.10	7.20	6.40	6.00	5.90	6.00	
3 50.00	-0.70	2.70	6.40	9.90	12.60	14.30	15.00	15.00	14.80	14.70	14.60	14.60	
47.50	-10.90	-7.30	-2.30	3.60	9.20	13.80	17.00	18.90	19.70	19.70	19.40	18.90	
45.00	-13.40	-11.30	-6.90	-1.10	5.10	10.40	14.20	16.30	16.80	16.40	15.70	15.30	
42.50	0.00	0.10	1.80	4.30	6.80	8.50	9.10	8.70	7.60	6.60	6.40	7.80	
40.00	21.00	20.10	18.60	16.20	12.70	8.40	4.20	0.90	-1.00	-1.10	0.80	4.90	
37.50	32.40	31.30	28.20	22.80	15.40	7.60	1.50	-1.60	-1.80	0.40	4.40	9.60	
35.00	26.20	25.50	22.70	17.80	11.40	5.50	2.20	2.40	5.20	9.00	12.70	15.80	

22 Jul 2014 *v₄₀₀*

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-12.60	-11.10	-8.40	-5.70	-4.00	-3.90	-4.70	-5.60	-5.60	-4.60	-3.50	-3.20
52.50	-11.70	-10.40	-7.70	-5.00	-3.60	-4.00	-5.40	-6.40	-6.10	-4.60	-2.90	-2.40
50.00	-7.50	-6.10	-3.70	-1.90	-1.80	-3.50	-5.90	-7.20	-6.70	-4.80	-2.90	-2.30
47.50	-2.50	0.50	3.50	4.90	3.80	0.40	-3.40	-6.00	-6.40	-5.40	-4.10	-3.70
45.00	0.60	6.40	11.20	13.20	11.60	6.80	1.10	-3.40	-5.90	-6.50	-6.30	-5.80
42.50	0.80	8.80	15.40	18.20	16.30	10.60	3.60	-2.40	-6.20	-7.70	-7.40	-5.70
40.00	-0.90	7.30	13.80	16.20	13.70	7.70	0.90	-4.20	-6.80	-6.80	-4.60	-0.80
37.50	-2.60	3.80	8.20	8.40	4.60	-0.90	-5.30	-6.90	-5.70	-2.30	2.50	7.60
35.00	-3.00	0.90	2.20	-0.40	-5.40	-9.50	-10.10	-7.30	-2.00	4.20	10.20	14.80

Вариант 9

22 Jul 2014 μ_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	9427	9396	9373	9356	9344	9333	9320	9305	9291	9280	9275	9274	9272
52.5	9468	9441	9419	9402	9387	9373	9357	9339	9321	9307	9297	9290	9281
50	9505	9492	9481	9472	9462	9448	9430	9410	9390	9372	9356	9341	9326
47.5	9477	9481	9491	9505	9514	9514	9505	9490	9472	9454	9436	9418	9400
45	9394	9411	9447	9489	9528	9552	9558	9553	9541	9527	9512	9498	9485
42.5	9344	9365	9414	9477	9534	9573	9590	9589	9580	9571	9564	9561	9560
40	9396	9412	9456	9513	9565	9597	9608	9604	9596	9593	9597	9608	9625
37.5	9528	9534	9558	9590	9615	9627	9624	9616	9612	9618	9634	9657	9685
35	9650	9650	9656	9662	9662	9656	9647	9643	9649	9664	9687	9713	9741

22 Jul 2014 μ_{300}

	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
55	5.4	3.8	2.7	2.5	2.8	3.2	3.1	2.3	1	-0.4	-1.6	-2.8	-4
52.5	12.7	14.3	15.8	17.3	18.5	19	18.6	17.3	15.4	13.3	11.3	9.5	7.9
50	3.9	8	12.6	17.2	21.3	24.3	26	26.3	25.7	24.6	23	21.4	19.8
47.5	-14.3	-9.8	-3.3	4.2	11.5	17.6	22.1	24.9	26.3	26.8	26.6	26.2	25.9
45	-19.7	-17	-11.5	-4.5	2.6	8.6	13	15.9	17.9	19.4	21	22.8	25.2
42.5	-0.4	-0.3	1.3	3.5	5.4	6.6	7.1	7.5	8.4	10.2	13.4	17.7	22.8
40	28.3	26.8	24.2	20.4	15.7	10.8	7.1	5.3	5.7	8.1	12.2	17.4	23
37.5	40.4	39.2	35.2	28.8	21.2	14.3	10.1	9	10.7	13.9	17.4	20.7	23.6
35	29.1	29.5	27.4	23.3	18.2	14.3	13	14.4	17.3	19.8	20.9	20.5	19.3

22 Jul 2014 ν_{300}

	15.00	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	32.50	35.00	37.50	40.00	42.50
55.00	-14.900	-12.10	-8.40	-5.60	-4.70	-5.50	-6.90	-7.50	-6.50	-4.10	-1.70	-0.90
52.50	-12.700	-10.70	-7.70	-5.50	-5.20	-6.70	-8.50	-9.20	-7.90	-5.20	-2.70	-1.90
50.00	-7.4000	-6.00	-3.90	-2.70	-3.50	-6.00	-8.70	-10.10	-9.60	-7.80	-5.90	-5.10
47.50	-2.2000	1.10	4.20	5.50	3.90	0.00	-4.60	-8.10	-9.80	-10.00	-9.60	-9.00
45.00	0.60000	7.90	13.80	16.10	13.90	8.30	1.40	-4.40	-8.20	-10.00	-10.20	-9.00
42.50	0.70000	11.20	19.10	21.80	18.70	11.60	3.70	-2.60	-6.00	-6.60	-5.10	-2.10
40.00	-0.50000	9.80	16.70	17.80	13.60	6.60	0.20	-3.20	-3.20	-0.40	3.90	8.60
37.50	-0.80000	5.80	8.90	7.30	2.60	-2.20	-4.20	-2.90	1.20	6.40	11.70	16.30
35.00	0.70000	2.90	1.90	-1.90	-5.80	-7.00	-4.40	0.80	6.20	10.70	14.20	16.70

ДОДАТОК В

Варіант 0

Жовтень, 2006 р.

Дата	$T_{\text{ф}}$	$T_{\text{п}}$
1	15,0	14,1
2	17,6	16,4
3	16,7	14,8
4	18,2	16,3
5	21,1	20,1
6	19,1	18,6
7	15,7	14,3
8	13,6	12,1
9	12,4	11,6
10	12,5	11,8
11	13,5	12,4
12	11,7	12,0
13	10,8	12,4
14	10,3	11,3
15	10,1	11,2

Дата	$T_{\text{ф}}$	$T_{\text{п}}$
16	8,6	7,4
17	3,4	2,3
18	3,0	1,5
19	2,7	2,0
20	7,7	5,6
21	8,5	7,4
22	11,9	10,1
23	14,3	13,2
24	11,8	10,8
25	16,0	14,5
26	12,6	11,3
27	11,2	10,4
28	10,6	9,8
29	7,9	6,3
30	10,5	9,4
31	3,8	1,9

Варіант 1

Листопад, 2006 р.

Дата	T_{ϕ}	T_{Π}
1	5,8	6,5
2	9,5	9,8
3	3,3	3,9
4	-0,8	1,4
5	-1,5	2,0
6	2,7	3,2
7	0,0	3,1
8	6,8	7,3
9	8,9	9,9
10	7,8	9,6
11	2,9	5,8
12	4,1	6,3
13	8,1	7,9
14	4,0	3,4
15	6,7	6,2

Дата	T_{ϕ}	T_{Π}
16	10,8	11,9
17	10,3	12,3
18	2,7	5,3
19	-0,6	2,8
20	-0,1	2,9
21	3,3	5,4
22	5,5	5,9
23	6,5	10,0
24	7,8	8,6
25	6,1	7,4
26	3,4	5,2
27	6,6	4,7
28	5,7	4,3
29	3,5	4,1
30	3,3	4,6

Варіант 2

Листопад, 2006 р.

Дата	$T_{\text{ф}}$	$T_{\text{п}}$
1	5,8	4,1
2	9,5	6,8
3	3,3	5,9
4	-0,8	1,6
5	-1,5	1,8
6	2,7	1,7
7	0,0	-1,9
8	6,8	5,3
9	8,9	11,5
10	7,8	10,2
11	2,9	3,8
12	4,1	6,2
13	8,1	6,9
14	4,0	3,6
15	6,7	4,9

Дата	$T_{\text{ф}}$	$T_{\text{п}}$
16	10,8	8,6
17	10,3	8,3
18	2,7	4,1
19	-0,6	-1,8
20	-0,1	-2,3
21	3,3	4,1
22	5,5	6,9
23	6,5	7,8
24	7,8	6,4
25	6,1	5,3
26	3,4	5,8
27	6,6	7,6
28	5,7	4,3
29	3,5	4,8
30	3,3	5,0

Варіант 3

Жовтень, 2006 р.

Дата	T_{ϕ}	T_{Π}
1	15,0	14,1
2	17,6	16,4
3	16,7	14,8
4	18,2	16,3
5	21,1	20,1
6	19,1	18,6
7	15,7	14,3
8	13,6	12,1
9	12,4	11,6
10	12,5	11,8
11	13,5	12,4
12	11,7	12,0
13	10,8	12,4
14	10,3	11,3
15	10,1	11,2

Дата	T_{ϕ}	T_{Π}
16	8,6	7,4
17	3,4	2,3
18	3,0	1,5
19	2,7	2,0
20	7,7	5,6
21	8,5	7,7
22	11,9	10,1
23	14,3	13,2
24	11,8	10,8
25	16,0	14,5
26	12,6	11,3
27	11,2	10,4
28	10,6	9,8
29	7,9	6,3
30	10,5	9,4
31	3,8	1,9

Варіант 4

Березень, 2006 р.

Дата	T_p	T_n
1	0,8	3,6
2	0,8	4,9
3	-1,1	-2,0
4	-0,3	-1,5
5	4,5	-2,4
6	4,0	2,5
7	-1,1	-1,2
8	-3,2	-4,3
9	-3,3	-4,4
10	-1,2	-2,9

Дата	T_p	T_n
11	3,8	3,1
12	6,7	4,5
13	3,9	-3,6
14	2,9	1,5
15	2,3	1,0
16	3,5	-2,1
17	4,0	3,1
18	4,3	-4,0
19	4,2	3,8
20	5,0	4,1

Дата	T_p	T_n
21	6,3	5,8
22	7,4	6,4
23	9,8	7,9
24	3,0	-1,5
25	1,4	-1,0
26	3,1	-2,1
27	6,2	-4,8
28	7,8	5,2
29	8,1	6,4
30	9,9	8,3
31	9,3	7,9

Варіант 5

Квітень, 2006 р.

Дата	T_p	T_n
1	9,1	8,6
2	10,3	9,4
3	11,7	10,2
4	9,5	7,6
5	9,1	10,2
6	7,7	9,8
7	7,6	10,4
8	9,6	11,7
9	9,2	11,8
10	10,1	12,3

Дата	T_p	T_n
11	11,3	10,5
12	10,8	12,6
13	9,5	11,8
14	10,3	12,4
15	9,7	10,3
16	9,1	11,8
17	9,4	10,6
18	10,4	9,8
19	12,0	13,4
20	14,2	16,3

Дата	T_p	T_n
21	15,8	17,1
22	15,6	17,1
23	15,4	17,8
24	11,2	15,4
25	9,2	12,3
26	9,5	7,6
27	9,9	7,8
28	9,6	8,4
29	11,0	10,3
30	10,4	12,4

Варіант 6

Березень, 2006 р.

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
1	0,8	3,6
2	0,8	-4,9
3	-1,1	-2,0
4	-0,3	-1,5
5	4,5	-2,4
6	4,0	2,5
7	-1,1	-1,2
8	-3,2	-4,3
9	-3,3	-4,4
10	-1,2	-2,9

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
11	3,8	3,1
12	6,7	4,5
13	3,9	3,6
14	2,9	-1,5
15	2,3	-1,0
16	3,5	-2,1
17	4,0	3,1
18	4,3	4,0
19	4,2	3,8
20	5,0	4,1

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
21	6,3	5,8
22	7,4	6,4
23	9,8	7,9
24	3,0	-1,5
25	1,4	-1,0
26	3,1	2,1
27	6,2	4,8
28	7,8	5,2
29	8,1	6,4
30	9,9	8,3
31	9,3	7,9

Варіант 7

Квітень, 2006 р.

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
1	9,1	3,7
2	10,3	7,3
3	11,7	10,4
4	9,5	8,3
5	9,1	7,6
6	7,7	
7	7,6	9,1
8	9,6	6,7
9	9,2	11,3
10	10,1	12,4

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
11	11,3	12,3
12	10,8	9,4
13	9,5	8,6
14	10,3	9,5
15	9,7	9,1
16	9,1	7,6
17	9,4	10,8
18	10,4	11,5
19	12,0	10,7
20	14,2	15,3

Дата	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{н}}$
21	15,8	16,9
22	15,6	11,3
23	15,4	13,1
24	11,2	7,6
25	9,2	8,3
26	9,5	7,6
27	9,9	8,2
28	9,6	10,7
29	11,0	12,6
30	10,4	11,8

Варіант 8

Березень, 2006 р.

Дата	T_p	T_n
1	0,8	3,6
2	0,8	4,9
3	-1,1	-2,0
4	-0,3	-1,5
5	4,5	-2,4
6	4,0	2,5
7	-1,1	-1,2
8	-3,2	-4,3
9	-3,3	-4,4
10	-1,2	-2,9

Дата	T_p	T_n
11	3,8	3,1
12	6,7	4,5
13	3,9	3,6
14	2,9	-1,5
15	2,3	-1,0
16	3,5	2,1
17	4,0	3,1
18	4,3	4,0
19	4,2	3,8
20	5,0	4,1

Дата	T_p	T_n
21	6,3	5,8
22	7,4	6,4
23	9,8	7,9
24	3,0	-1,5
25	1,4	-1,0
26	3,1	-2,1
27	6,2	4,8
28	7,8	5,2
29	8,1	6,4
30	9,9	8,3
31	9,3	7,9

Варіант 9

Квітень, 2006 р.

Дата	T_p	T_n
1	9,1	8,6
2	10,3	11,9
3	11,7	12,8
4	9,5	10,3
5	9,1	10,8
6	7,7	9,9
7	7,6	9,8
8	9,6	11,3
9	9,2	11,2
10	10,1	12,2

Дата	T_p	T_n
11	11,3	13,4
12	10,8	11,3
13	9,5	10,6
14	10,3	8,3
15	9,7	7,7
16	9,1	8,2
17	9,4	6,8
18	10,4	8,2
19	12,0	10,1
20	14,2	11,3

Дата	T_p	T_n
21	15,8	14,9
22	15,6	16,8
23	15,4	17,2
24	11,2	13,4
25	9,2	10,6
26	9,5	7,3
27	9,9	7,8
28	9,6	6,9
29	11,0	10,1
30	10,4	12,5