

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи магістрів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Чисельні прогнози погоди та даунскелінг»

з елементами дистанційної форми навчання

спеціальність «Науки про Землю»
освітня програма «Метеорологія»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи магістрів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Чисельні прогнози погоди та даунскелінг»

з елементами дистанційної форми навчання

спеціальність «Науки про Землю»
освітня програма «Метеорологія»

«Узгоджено»

у деканаті магістерської та аспірантської
підготовки

Декан _____ Боровська Г.О.

«Затверджено»

на засіданні кафедри метеорології
та кліматології

протокол № 10 від 29.05.2018 р.

Зав.кафедри _____ Івус Г.П.

Одеса – 2018

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи магістрів
та виконання міжсесійної контрольної роботи
з дисципліни

«Чисельні прогнози погоди та даунскелінг»

з елементами дистанційної форми навчання

спеціальність «Науки про Землю»
освітня програма «Метеорологія»

«Узгоджено»
у деканаті магістерської та аспірантської
підготовки

Методичні вказівки для самостійної роботи магістрів та виконання міжсесійної контрольної роботи з дисципліни «Чисельні прогнози погоди та даунскелінг» з елементами дистанційної форми навчання.

Спеціальність «Науки про Землю», освітня програма «Метеорологія».

Укладачі: к.геогр.н. Хоменко Г.В., к.геогр.н. Івус Г.П.; укр., 54 стор.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Навчальна дисципліна «Чисельні прогнози погоди та даунскелінг» належить до циклу дисциплін варіативної частини і займає важливе місце у підготовці магістрів за спеціальністю «103 - Науки про Землю» — освітня програма «Метеорологія».

Доцільність вивчення цієї дисципліни пов'язана з тим, що в останні десятиріччя, завдяки швидкому розвитку обчислювальної техніки і чисельних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь, з'явилося багато моделей чисельного прогнозу атмосферних процесів різних масштабів. Продукція цих моделей широко використовується в оперативній практиці прогнозування погоди практично в усіх прогностичних центрах світу.

Мета викладання дисципліни полягає у тому, щоб, по-перше, навчити студентів розуміти принципи побудови прогностичних моделей на основі повних рівнянь гідротермодинаміки (ГТД) для великомасштабних процесів і способи врахування процесів більш дрібних масштабів; по-друге, ознайомити їх з сітковими методами реалізації моделей, а також надати знань з методів оцінки якості чисельних прогнозів.

Завдання цієї дисципліни полягає у тому, щоб сформувати у студентів чітке уявлення про гідродинамічне моделювання атмосферних процесів різних масштабів і способи використання продукції чисельних моделей в оперативній роботі синоптика.

Після вивчення дисципліни студенти повинні:

знати

- системи координат, які використовуються в гідродинамічних моделях;
- рівняння гідротермодинаміки (ГТД) в різних системах координат;
- основні принципи фізичної та математичної постановки задач чисельного прогнозу великомасштабних атмосферних процесів на основі повних рівнянь ГТД і способи врахування процесів підсиноптичних масштабів за допомогою даунскелінга;
- сіткові методи реалізації чисельних моделей;
- 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;
- користуватися шаховою сіткою для скінченнорізницевої апроксимації похідних;
- складати алгоритм інтегрування системи рівнянь ГТД в r-координатах;
- пояснювати суть телескопічних схем інтегрування рівнянь моделей;

- розраховувати статистичні характеристики справджуваності чисельних прогнозів і робити висновки щодо їх якості.

Робочою програмою передбачено вивчення двох розділів цієї дисципліни.

Перший розділ присвячено питанням щодо постановки задачі прогнозу на основі повної системи рівнянь гідротермодинаміки для великомасштабних атмосферних процесів вільної атмосфери. Розглядаються також основні схеми інтегрування рівнянь моделей за часом. Деяка увага приділяється телескопічним схемам інтегрування (з застосуванням вкладених сіток).

В другому розділі в загальних рисах розглядаються деякі моделі, які використовуються в оперативній практиці зарубіжних країн і України. Обговорюються також питання щодо оцінки якості чисельних прогнозів та шляхів використання останніх в оперативній роботі синоптика.

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 написати залікову контрольну роботу.

Об'єм годин на вивчення дисципліни визначається навчальним планом підготовки студентів за спеціальністю «103 - Науки про Землю» та освітньою програмою «Метеорологія».

1.1. Перелік тем лекційних занять.

ЗМ-Л1. Основні принципи побудови і чисельної реалізації моделей за повними рівняннями для великомасштабних атмосферних процесів.

Тема 1. Система повних рівнянь гідротермодинаміки в ізобаричній, ξ і σ – системах координат. Початкові та межові умови.

Тема 2. Інтегрування повної системи рівнянь гідротермодинаміки. Схеми інтегрування за часом.

Тема 3. Даунскелінг на основі вкладених сіток.

Після вивчення змістовного модулю ЗМ-Л1 студенти повинні знати:

- систему рівнянь гідротермодинаміки (ГТД) для процесів синоптичного масштабу в p , ξ і σ – системах координат;
- початкові та межові умови для системи рівнянь в різних системах координат;
- процедуру інтегрування системи рівнянь ГТД в p , ξ і σ – системах координат.
- способи врахування процесів підсиноптичних масштабів.

ЗМ-Л2. Оперативні чисельні моделі прогнозу та оцінка їх якості.

Тема 1. Загальні відомості про скінченнорізницеві моделі MM5 і WRF.

Тема 2. Методи верифікації чисельних прогнозів погоди.

Знання, які студенти повинні одержати після вивчення змістовного модулю ЗМ-Л2.

- основні кількісні характеристики якості чисельних моделей та способи використання продукції останніх в оперативній практиці прогнозування погоди;
- фізичне наповнення моделей MM5 і WRF.

1.2. Перелік тем практичних занять.

ЗМ-П1. Прогностична модель атмосфери за повними рівняннями для північної півкулі та сіткові методи її реалізації.

Тема 1. Вихідна система рівнянь моделі в p - координатах. Початкові та межові умови.

Тема 2. Складання алгоритму розв'язання прогностичної задачі.

Тема 3. Обчислення майбутніх значень метеорологічних величин в одному вузлі сітки на одному кроці за часом.

Після виконання змістовного модуля ЗМ-П1 студент повинен вміти:

- записати повну систему рівнянь прогностичної моделі атмосфери для північної півкулі та початкові і межові умови;
- записати скінченнорізнцеву схему моделі з використанням шахової сітки;
- побудувати алгоритм обчислення майбутніх значень метеовеличин у деякому вузлі шахової сітки і реалізувати цей алгоритм на комп'ютері.

ЗМ-П2. Розрахунок статистичних характеристик справджуваності чисельних прогнозів температури повітря.

Після виконання змістовного модуля ЗМ-П2 студент повинен вміти:

- розраховувати кількісні характеристики справджуваності чисельних прогнозів;
- аналізувати отримані результати і робити висновки щодо якості чисельних прогнозів неперервних метеовеличин.

Навчально-методичне забезпечення всіх змістовних модулів здійснюється за допомогою комплексних методичних вказівок для самостійної роботи студентів, навчального посібника і підручників з гідродинамічних методів прогнозу погоди. Необхідна література є у наявності на кафедрі метеорології та кліматології і в бібліотеці ОДЕКУ.

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 | Розділ 1. Основні принципи побудови та чисельної реалізації моделей за повними рівняннями для великомасштабних атмосферних процесів. | Складання теоретичної частини МКР (теми 1, 2) | 15-31 серпня | 20 |
| | | Тема 1. Система повних рівнянь в ізобаричній, ζ і σ -системах координат. Початкові та межові умови. | | | |
| | | Тема 2. Інтегрування повної системи рівнянь ГТД. Схеми інтегрування за часом. | | | |
| | | Тема 3. Даунскелінг на основі вкладених сіток. | | | |
| | | | УО | під час сесії | 10 |
| 2 | ЗМ-П1 | Прогностична модель атмосфери за повними рівняннями для північної півкулі та сіткові методи її реалізації. | Виконання практичного завдання МКР (теми 2, 3) | 1-15 вересня | 35 |
| | | Тема 1. Вихідна система рівнянь моделі в p -координатах. Початкові та межові умови | | | |
| | | Тема 2. Складання алгоритму розв'язання прогностичної задачі. | | | |
| | | Тема 3. Обчислення майбутніх значень метеорологічних величин в одному вузлі шахової сітки на одному кроці за часом. | | | |
| 3 | ЗМ-Л2 | Оперативні чисельні моделі прогнозу та оцінка їх якості | Складання теоретичної частини МКР (тема 2) УО | 16-30 вересня | 10 |
| Тема 1. Загальні відомості про скінченнорізницевої моделі MM5 і WRF. | під час сесії | 10 | | | |
| Тема 2. Методи верифікації чисельних прогнозів погоди. | | | | | |
| 4 | ЗМ-П2 | Розрахунок статистичних характеристик справджуваності чисельних прогнозів температури повітря | Виконання практичного завдання МКР | 1-10 жовтня | 15 |
| Межсесійна контрольна робота | | | | | 100 |

2. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

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.

2.1. Рекомендації до вивчення теоретичної частини дисципліни з розділу 1 (ЗМ-Л1)

Тема 1. Представимо системи рівнянь ГТД в ізобаричних (p і ξ) координатах і в σ – системі координат.

Система рівнянь ГТД в ізобаричних координатах має вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \tau \frac{\partial u}{\partial p} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + \ell v; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \tau \frac{\partial v}{\partial p} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} - \ell u; \\ T &= -\frac{Pg}{R} \frac{\partial H}{\partial p}; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial p} &= 0; \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + \tau \frac{\partial T}{\partial p} &= \frac{RT}{c_p p} \tau.\end{aligned}\tag{2.1}$$

Система рівнянь (2.1) містить п'ять рівнянь, п'ять невідомих (u, v, τ, H, T), тому є замкненою і може бути розв'язана. Для одержання єдиного розв'язку задаються початкові та межові умови.

Початкові умови мають вигляд

$$f(x, y, p, t) = f(x, y, p, t_0),\tag{2.2}$$

де $f = \left\{ \begin{array}{l} u \\ v \\ T \text{ або } H \end{array} \right\}$; t_0 - строк спостережень.

Межові умови за вертикальною координатою можна задати для ізобаричної вертикальної швидкості у вигляді

$$\underline{\text{НМУ}} \text{ (нижня межа умова): при } p = P_0 \quad \tau = \frac{P_0 g}{RT_0} \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (2.3),$$

де $P_0 = 1000$ гПа, T_0 - температура на поверхні $P = 1000$ гПа, H - висота поверхні 1000 гПа.

$$\underline{\text{ВМУ}} \text{ (верхня межа умова): при } p \rightarrow 0 \quad \tau \rightarrow 0. \quad (2.4)$$

Бічні межові умови, тобто умови за координатами x, y задаються в залежності від того, для якої території розв'язується прогностична задача (для земної кулі, для півкулі чи для обмеженої території).

При побудові атмосферних моделей найчастіше використовується ізобарична система координат, в якій вертикальна координата ζ (дзета) записується в безрозмірному вигляді

$$\zeta = \frac{p}{P_0}, \text{ де } P_0 = 1000 \text{ гПа,}$$

p - поточна вертикальна координата, яка для основних ізобаричних поверхонь набуває значень 850, 700, 500, та 300 гПа. Як видно із останньої формули, координата ζ для цих поверхонь дорівнює відповідно: 0,85; 0,7; 0,5; 0,3.

Рівняння в цій системі координат відрізняються тільки членами, які містять в собі похідну за вертикальною координатою. Наприклад, в першому рівнянні руху, це член $\tau \frac{\partial u}{\partial p}$. Щоб записати цей член в ζ системі достатньо помножити та розділити його на P_0 ; в результаті отримаємо

$$\frac{P_0}{P_0} \tau \frac{\partial u}{\partial p} = \frac{\tau}{P_0} \frac{\partial u}{\partial \left(\frac{p}{P_0} \right)} = \epsilon \frac{\partial u}{\partial \zeta}, \text{ де } \epsilon = \frac{\tau}{P_0} = \frac{\tau}{1000}.$$

Аналогічно отримуються подібні члени в інших рівняннях.

Таким чином, система (2.1) в ζ - координатах набуває вигляду

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \hat{t} \frac{\partial u}{\partial \zeta} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + \ell v; \\
 \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \hat{t} \frac{\partial v}{\partial \zeta} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} - \ell u; \\
 T &= -\frac{\zeta g}{R} \frac{\partial H}{\partial \zeta}; \\
 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \hat{t}}{\partial \zeta} &= 0; \\
 \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + \hat{t} \frac{\partial T}{\partial \zeta} &= \frac{RT}{c_p \zeta} \hat{t}.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Початкові умови для цієї системи рівнянь записуються так

$$f(x, y, \zeta, t) = f(x, y, \zeta, t_0), \quad (2.6)$$

$$\text{де } f = \left\{ \begin{array}{l} u \\ v \\ T \text{ або } H \end{array} \right\}, \quad t_0 - \text{строк спостережень.}$$

Межові умови за вертикальною координатою набувають вигляду

$$\text{НМУ при } \zeta = 1 \quad \hat{t} = \frac{g}{RT_0} \frac{\partial H}{\partial t}; \quad (2.7)$$

$$\text{ВМУ при } \zeta \rightarrow 0 \quad \hat{t} \rightarrow 0. \quad (2.8)$$

Одним із недоліків декартової та ізобаричної систем координат є те, що в рівняннях, які записуються в цих системах, не ураховується рельєф підстильної поверхні. Цей недолік усувається при використанні σ - системи координат.

В цій системі роль безрозмірної вертикальної координати σ виконує відношення

$$\sigma = \frac{p}{P_s},$$

де p - тиск на даному рівні, тобто поточна координата, а $P_s = P_s(x, y, t)$ - тиск на земній поверхні, який є змінною величиною.

Аналог вертикальної швидкості в цій системі координат має вигляд

$$\frac{d\sigma}{dt} = \dot{\sigma} = \frac{d}{dt} \left(\frac{p}{P_s} \right) \quad (2.9)$$

Для горизонтальних координат x_σ, y_σ виконуються такі рівності

$$x_\sigma \approx x_p \approx x \quad y_\sigma \approx y_p \approx y$$

З урахуванням того, що

$$\frac{\partial p}{\partial \sigma} = P_s, \quad \frac{\partial p}{\partial x_\sigma} = \sigma \frac{\partial P_s}{\partial x_\sigma}, \quad \frac{\partial p}{\partial y_\sigma} = \sigma \frac{\partial P_s}{\partial y_\sigma}.$$

Із рівнянь (2.1) отримаємо систему рівнянь в σ - системі координат

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial u}{\partial \sigma} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{\sigma}{P_s} \frac{\partial H}{\partial \sigma} \frac{\partial P_s}{\partial x} + \ell v, \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial v}{\partial \sigma} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} + g \frac{\sigma}{P_s} \frac{\partial H}{\partial \sigma} \frac{\partial P_s}{\partial y} - \ell u, \\ T &= -\frac{g}{R} \sigma \frac{\partial H}{\partial \sigma}, \\ \frac{\partial P_s}{\partial t} + u \frac{\partial P_s}{\partial x} + v \frac{\partial P_s}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial P_s}{\partial \sigma} &= -P_s \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \right), \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} &= 0, \\ \theta &= T \left(\frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^{\frac{R}{C_p}}, \text{ де } \sigma_0 = \frac{P_0}{P_s} = \frac{1000}{P_s} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Початкові умови для цієї системи рівнянь мають вигляд

$$f(x, y, \sigma, t) = f(x, y, \sigma, t_0), \quad (2.11)$$

$$\text{де } f = \left\{ \begin{array}{l} u \\ v \\ P_s \\ \theta \end{array} \right\}, \quad t_0 - \text{строк спостережень.}$$

Враховуючи те, що $\sigma = \frac{p}{P_s}$, можна легко отримати вирази для межових умов за вертикальною координатою, тобто на нижній межі при $z=0$ $p = P_s$ або при $\sigma = \frac{P_s}{P_s} = 1$ $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{d}{dt}(1) = 0$; на верхній межі при $z \rightarrow \infty$ $p = 0$ і тоді при $\sigma = \frac{0}{P_s} = 0$ $\frac{d\sigma}{dt}$ також дорівнює нулю, тобто $\dot{\sigma} = 0$.

Отже, нижня та верхня межові умови запишуться в такому вигляді

$$\text{НМУ} \quad \text{при } \sigma = 1 \quad \dot{\sigma} = 0, \quad (2.12)$$

$$\text{ВМУ} \quad \text{при } \sigma = 0 \quad \dot{\sigma} = 0 \quad (2.13)$$

Таким чином, в σ - системі координат маємо нульові умови на нижній і верхній межах шару атмосфери, для якого будується гідродинамічна модель. Такі прості, але цілковито коректні умови, істотно спрощують розв'язання прогностичної задачі.

Відмітимо, що в системі (2.10), індекс σ при незалежних змінних x, y, t опущено, як і в системах (2.1), (2.5) опущено індекси p і ζ відповідно.

Оскільки система рівнянь ГТД є нелінійною, її розв'язання в аналітичній формі є неможливим і для інтегрування застосовуються наближені чисельні методи, зокрема метод сіток. Сутність цього методу полягає у тому, що значення метеорологічних величин в області визначення розв'язку задаються у дискретних точках (у так званих вузлах сітки), а похідні замінюються відношенням скінченних різниць. У результаті такої заміни одержуються скінченнорізницеві рівняння.

Система скінченнорізницевих рівнянь гідротермодинаміки разом з межовими умовами, заданими у скінченнорізницевому вигляді на множині вузлів сітки у межах області визначення розв'язку, називається *скінченнорізницевою схемою або чисельною моделлю*. Отже після заміни похідних скінченними різницями замість системи диференціальних рівнянь одержується замкнена система алгебраїчних рівнянь. Таким чином, метод сіток дозволяє розв'язання системи диференціальних рівнянь гідротермодинаміки з межовими і початковими умовами звести до розв'язання системи алгебраїчних рівнянь.

Отже, системи рівнянь (2.1), (2.5), (2.10) з відповідними початковими та межовими умовами складають основу чисельних прогнозів великомасштабних процесів вільної атмосфери, які формують погодні умови над великими територіями. В загальному вигляді постановку задачі прогнозу таких процесів можна сформулювати таким чином:

1. Будемо розглядати граничний шар атмосфери (ГША), в якому завжди присутні турбулентні рухи (тому сили турбулентної в'язкості досить великі), як дуже тонкий шар навколо земної поверхні, тобто як тонку

плівку, що огортає земну кулю. Це обмеження є цілком припустимим, тому що товщина цього шару ($\sim 1 - 1,5$ км) набагато менша за вертикальну протяжність шару атмосфери, в якому відбуваються великомасштабні погодоутворюючі процеси (тропосфера і, скажемо, нижня половина стратосфери – це 20 – 30 км). При такому припущенні не враховуються атмосферні процеси, які відбуваються в граничному шарі атмосфери.

2. Математичне нехтування ГША виражається у тому, що в рівняннях руху не враховуються сили турбулентної в'язкості і тим більше молекулярної, яка значно менша за турбулентну. Тобто рівняння руху в цьому разі стають значно простішими, оскільки зменшується кількість членів і порядок рівнянь: із диференціальних рівнянь другого порядку вони стають рівняннями першого порядку. В рівнянні припливу тепла не враховується турбулентний приплив тепла ($\varepsilon_T=0$).
3. Для цілей короткострокового прогнозу погоди процеси у вільній атмосфері розглядаємо в адіабатичному наближенні, тобто вважаємо, що зовнішній приплив тепла дорівнює нулю ($\varepsilon=0$) і тому скорочується кількість невідомих.
4. Вважаємо, що підстильна поверхня являє собою горизонтальну дзеркально гладку поверхню; завдяки цьому припущенню позбавляємося орографічних вертикальних рухів, які виникають при наявності гір або гірських хребтів, та фрикційних вертикальних рухів, які виникають в ГША під дією турбулентної в'язкості. Виключення цих рухів значно спрощує задачу прогнозу, тому що нижня гранична умова у цьому випадку набуває досить простого вигляду.

Сформульована у загальному вигляді задача чисельного прогнозу погоди полягає у визначенні розв'язку вказаних систем (2.1), (2.5), (2.10), які задовольняють заданим початковим та відповідним межовим умовам.

Рекомендації до вивчення теми 1: при ознайомленні з постановкою задачі чисельного прогнозу метеорологічних полів треба чітко уявити які системи координат і чому доцільно застосовувати при побудові гідродинамічних моделей за повними рівняннями; слід знати, відносно яких невідомих мусить бути розв'язана система рівнянь в тих чи інших координатах, а також розуміти переваги і недоліки останніх (див.[5], с.12-46; [6], с.41-74; [7], с.7-39).

Тема 2. При чисельній реалізації прогностичних моделей використовуються різні схеми інтегрування за часом. Існують явні, неявні та напівнеявні схеми. Розглянемо ці схеми на прикладі першого рівняння руху. Відомо, що будь-яке прогностичне рівняння можна представити у вигляді

$$\frac{\partial f}{\partial t} = F_f,$$

де F_f - права частина рівняння відповідно до функції f . В першому рівнянні руху роль f виконує зональна складова (u) швидкості вітру, а F_u - права частина цього рівняння, тобто

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F_u, \text{ де } F_u = -\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \tau \frac{\partial u}{\partial p} + g \frac{\partial H}{\partial x} - \ell v\right).$$

В загальному вигляді явну схему для цього рівняння можна записати таким чином

$$\frac{u^{s+1} - u^s}{\delta t} = F_u^s.$$

Такий запис означає, що F_u^s може бути розраховано за початковими даними, u^s - відома величина, тому що в момент часу s всі метеовеличини відомі, і тоді єдина невідома u^{s+1} виражається через відомі:

$$u^{s+1} = u^s + \delta F_u^s.$$

Розпишемо явну схему для першого рівняння руху з урахуванням вигляду функції F_u . Оскільки в праву частину рівняння входять похідні за координатами x, y, P , треба для кожної метеовеличини вказувати не тільки часові, а і просторові координати.

Отже, явна схема для першого рівняння руху має вигляд

$$\frac{u^{s+1} - u^s}{\delta t} = -\left[u_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i+1,j,k}^s - u_{i-1,j,k}^s}{2\delta x} \right) + v_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j+1,k}^s - u_{i,j-1,k}^s}{2\delta y} \right) + \tau_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j,k+1}^s - u_{i,j,k-1}^s}{P_{k+1} - P_{k-1}} \right) + \right. \\ \left. + g \left(\frac{H_{i+1,j,k} - H_{i-1,j,k}}{2\delta x} \right) - \ell_j v_{i,j,k}^s \right].$$

Рівняння показує, що єдина невідома u^{s+1} виражається через відомі і тому може бути розрахована за один прийом.

В неявній схемі права частина F_u відноситься до майбутнього моменту часу, тому

$$u^{s+1} = u^s + \delta F_u^{s+1}, \text{ або}$$

$$u_{i,j,k}^{s+1} = u_{i,j,k}^s - \delta \left[u_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i+1,j,k}^{s+1} - u_{i-1,j,k}^{s+1}}{2\delta x} \right) + v_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j+1,k}^{s+1} - u_{i,j-1,k}^{s+1}}{2\delta y} \right) + \right. \\ \left. + \tau_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j,k+1}^{s+1} - u_{i,j,k-1}^{s+1}}{P_{k+1} - P_{k-1}} \right) + g \left(\frac{H_{i+1,j,k}^{s+1} - H_{i-1,j,k}^{s+1}}{2\delta x} \right) - \ell_j v_{i,j,k}^{s+1} \right].$$

Видно, що невідома величина $u_{i,j,k}^{s+1}$ виражається через невідомі значення складової « u » в інших вузлах сітки, тому для отримання майбутніх значень u^{s+1} треба останнє рівняння розписати для всіх вузлів сітки і з використанням початкових і межових умов розв'язувати систему алгебраїчних рівнянь. Таким чином, неявна схема потребує для своєї реалізації значно більше часу, ніж явна.

Існують також схеми, які потребують менше часу в порівнянні з явними, але забезпечують обчислювальну стійкість рішення системи. Це так звані напівнеявні схеми, в яких всі лінійні члени або їх частина відносяться до двох моментів часу (майбутнього та поточного) шляхом їх осереднення за часом. В рівняннях руху осереднення виконується, як правило, для лінійного члена ℓv (в першому рівнянні) і ℓu (в другому). Ці члени переносяться в ліву частину рівнянь.

Напівнеявна схема для першого рівняння руху записується так:

$$u_{i,j,k}^{s+1} - \ell \delta t \left(\frac{v_{i,j,k}^{s+1} + v_{i,j,k}^s}{2} \right) = u_{i,j,k}^s - \delta t \left[u_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i+1,j,k}^s - u_{i-1,j,k}^s}{2\delta x} \right) + v_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j+1,k}^s - u_{i,j-1,k}^s}{2\delta y} \right) + \tau_{i,j,k}^s \left(\frac{u_{i,j,k+1}^s - u_{i,j,k-1}^s}{P_{k+1} - P_{k-1}} \right) + g \left(\frac{H_{i+1,j,k}^s - H_{i-1,j,k}^s}{2\delta x} \right) \right].$$

Явні, неявні, напівнеявні схеми можуть бути двохточковими, триточковими, двохрівневими, трирівневими. Так схеми класифікуються в залежності від кількості використаних в схемі часових шарів (рівнів: $s, s+1, s-1$) і точок у просторі (більш детально див. [1], с. 87-98).

Рекомендації до вивчення теми 2: для більш чіткого уявлення про схеми інтегрування рівнянь за часом слід спочатку розглянути явні, неявні, напівнеявні схеми на прикладі достатньо простого рівняння адвекції, а потім ознайомитися з прикладом представлення рівняння руху з використанням вказаних схем інтегрування (див. [1], с. 91-93).

Тема 3. Прогностичні моделі для великомасштабних атмосферних процесів є найбільш простими і вони описують лише процеси, горизонтальні масштаби яких складають 1000 км і більше. Для прогнозу таких процесів вводиться сітка точок з горизонтальним кроком $\delta r = 1000 \text{ км} / 4 = 250 \text{ км}$. За допомогою такої сітки описуються процеси з горизонтальним масштабом (який ототожнюється з довжиною хвилі L)

$$L \geq 4\delta r,$$

тобто L дорівнює або перевищує 1000 км.

Атмосферні процеси менших масштабів залишаються неврахованими. Навіть при зменшенні кроку до 25 км моделлю не враховується широкий спектр атмосферних процесів (це процеси мезо- і мікомасштабів).

Виходячи з того, що горизонтальні масштаби великомасштабних (синоптичних) процесів L_C і мезомасштабних (локальних) процесів L_M складають відповідно 1000 і 100 км, можна прийняти, що горизонтальні розміри процесів підсиноптичних (проміжних) масштабів L_{Π} знаходяться в інтервалі 100-1000 км. Тоді виходить, що для врахування процесів підсиноптичних масштабів потрібні просторові сітки з горизонтальними кроками

$$\frac{L_M}{4} \leq \delta r \leq \frac{L_C}{4},$$

тобто з кроками більшими за 25 км і меншими ніж 250 км.

До підсиноптичних процесів відносяться процеси, які відбуваються в тилу крупних циклонів, в улоговинах з вторинними фронтами, на атмосферних фронтах, на початковій стадії розвитку тропічних циклонів тощо.

Для врахування таких процесів будуються регіональні прогностичні моделі, в яких використовуються телескопічні схеми інтегрування рівнянь моделі, тобто схеми інтегрування на вкладених сітках.

Рекомендації до вивчення теми 3: при ознайомленні з методом вкладених сіток доцільно розглянути в загальних рисах «багатосходенкові» системи прогностичних моделей та реалізацію таких систем за допомогою методу вкладених сіток (див. [8], с. 147-151, 320-323).

Запитання для самоперевірки знань з розділу 1

1. Чому в чисельних моделях не використовується система рівнянь в декартових координатах?
2. Чому при розв'язанні системи рівнянь треба задавати початкові та межові умови?
3. Які переваги має система рівнянь в r -координатах в порівнянні з декартовими?
4. В чому полягають переваги та недоліки σ – системи координат?
5. Дайте визначення явних, неявних, напівнеявних схем інтегрування рівнянь за часом.
6. З розрахунку якої величини починається реалізація чисельної моделі за повними рівняннями?
7. Що являє собою процедура об'єктивного аналізу?

8. Які переваги мають шахові сітки точок в порівнянні зі звичайними?
9. На скількох ізобаричних поверхнях треба мати вихідну інформацію для розрахунку похідних $\frac{\partial u}{\partial p}$, $\frac{\partial v}{\partial p}$?
10. Що Ви розумієте під терміном «даунскелінг»?
11. В чому полягає сенс телескопічних схем інтегрування рівнянь моделей?
12. Для чого в моделях прогнозу використовується інтегрування рівнянь на вкладених сітках?
13. В якому вигляді використовуються схеми телескопізації в моделях MM5 та WRF?
14. Чому всі чисельні моделі реалізуються методом «кроків за часом»?
15. Які хвильові рухи враховуються в моделях за повними рівняннями?

2.2. Рекомендації до вивчення теоретичної частини дисципліни з розділу 2 (ЗМ-Л2)

Тема 1. При ознайомленні з цією темою необхідно звернути увагу на фізичну постановку задачі прогнозу в моделях MM5 та WRF, тобто з'ясувати, які атмосферні процеси вони враховують. Треба також ознайомитися з системами рівнянь і постановкою початкових та межових умов. Для більш чіткого уявлення про чисельні моделі, які враховують різні процеси підсиноптичних масштабів, доцільно хоча б в загальних рисах ознайомитися з чисельною реалізацією таких моделей з використанням методу вкладених сіток.

Досить детально питання з цієї теми викладені в конспекті лекцій [5] - с. 151, 163-165, 175-181.

Тема 2. Відомо, що прогностичні поля метеорологічних величин або явищ погоди чисельними методами отримуються в результаті реалізації гідродинамічних моделей, тому дуже важливою є задача оцінювання якості таких моделей. Результати оцінок дозволяють виявити, наскільки точно математична модель описує реальні атмосферні процеси.

Процедуру оцінки якості прогнозів, які складаються за допомогою моделей, прийнято називати верифікацією.

Верифікація прогнозів погоди є важливою частиною будь-якої наукової системи прогнозування, в якій визначається якість цих прогнозів. За своєю суттю, верифікація прогнозів має на меті оцінювання існуючого рівня прогнозування і останніх тенденцій якості прогнозів, покращення методик прогнозування і, врешті решт, самих прогнозів, та забезпечення користувачів

інформацією, потрібною для ефективного використання прогнозів. Отже, прогноз порівнюється, або верифікується, з відповідними спостереженнями того, що мало місце насправді. При цьому верифікація може бути якісною чи кількісною, але, в будь-якому разі, вона має надавати інформацію про природу помилок прогнозів.

Традиційно верифікація прогнозів зосереджується на точності та успішності, але інші атрибути, від яких залежить якість прогнозу (наприклад, надійність, гострість, невизначеність і т.ін.), мають великий вплив на цінність прогнозу.

Нагадаємо, що точність – це рівень узгодженості між прогнозом та спостереженням. Різниця між прогнозом і спостереженням є помилкою. Чим менша помилка, тим більша точність.

Успішність – це точність прогнозу відносно деякого базисного прогнозу. Як правило, базисним прогнозом є безуспішний прогноз (випадковий) або інерційний (який визначається за останніми даними спостережень і передбачає незмінність умов), або кліматичний, який базується на кліматичних даних.

Якість – це ступінь, до якого прогноз збігається з тим, що реально відбувається і, нарешті, цінність визначається ступенем, до якого прогноз допомагає відповідальній особі реалізувати деякі економічні або інші переваги.

Взагалі, якість прогнозу відрізняється від його цінності і прогноз має високу якість, якщо він добре передбачає спостережені умови відповідно до якихось об'єктивних чи суб'єктивних критеріїв, а велику цінність він має тоді, коли допомагає споживачеві прийняти краще рішення. Прикладом прогнозу низької якості, але великої цінності є такий. Якщо модель чисельного прогнозу погоди прогнозує розвиток ізольованої грози у деякому регіоні і ця гроза дійсно була, але її розташування трохи відрізнялось від запропонованого моделлю, відповідно до більшості стандартних верифікаційних заходів цей прогноз має низьку якість. Проте він є дуже цінним для синоптика, який давав прогноз погоди загального використання. Зворотним прикладом є прогноз ясного неба над пустелею протягом сухого періоду, коли якість прогнозу буде безперечно високою, а цінність, навпаки, низькою.

Наприкінці, розглянемо питання про вірогідність результатів верифікації. Природно, що вони є більш достовірними, коли величина та якість верифікаційних даних є високими. Проте, завжди корисно помістити самі результати верифікації у границі похибки. Особливо це є важливим (а) для рідкісних подій, де розмір вибірки є малим, (б) коли дані виказують велику мінливість і (в) коли є потреба знати, наскільки один прогностичний продукт є кращим (у статистичному сенсі) за інший.

1. Візуальний метод верифікації прогнозів

Одним з найстаріших та найкращих методів верифікації є візуальний метод: подивіться на прогноз та спостереження разом та використайте людське судження для розпізнавання помилок прогнозу. Загальноприйнятим є представлення даних у вигляді графіків часових рядів та карт (дивись приклади на рис. 2.1 та 2.2).

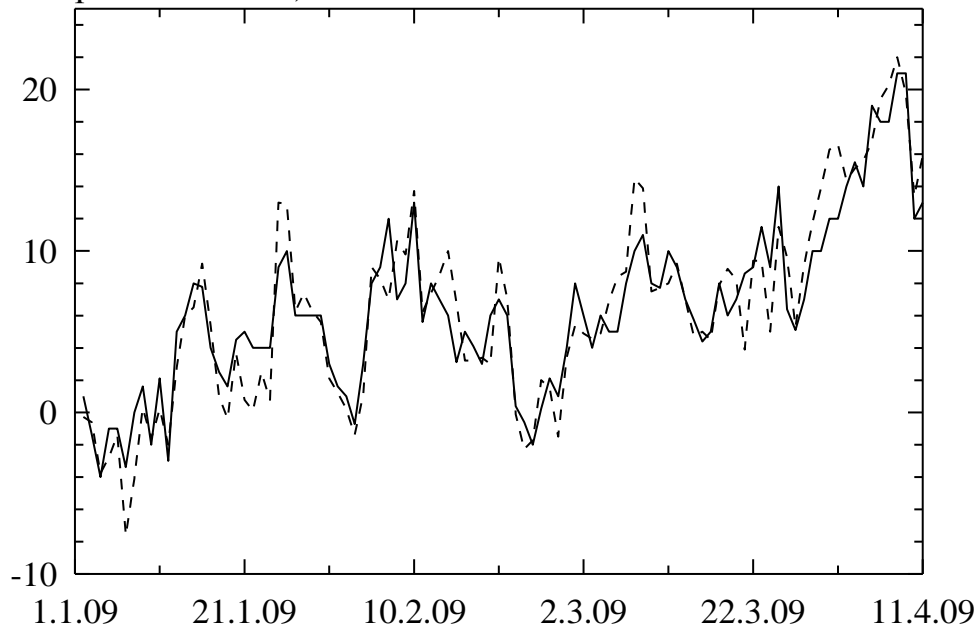


Рисунок 2.1 – Фактична (суцільна лінія) та прогностична (пунктир) температура в Одесі

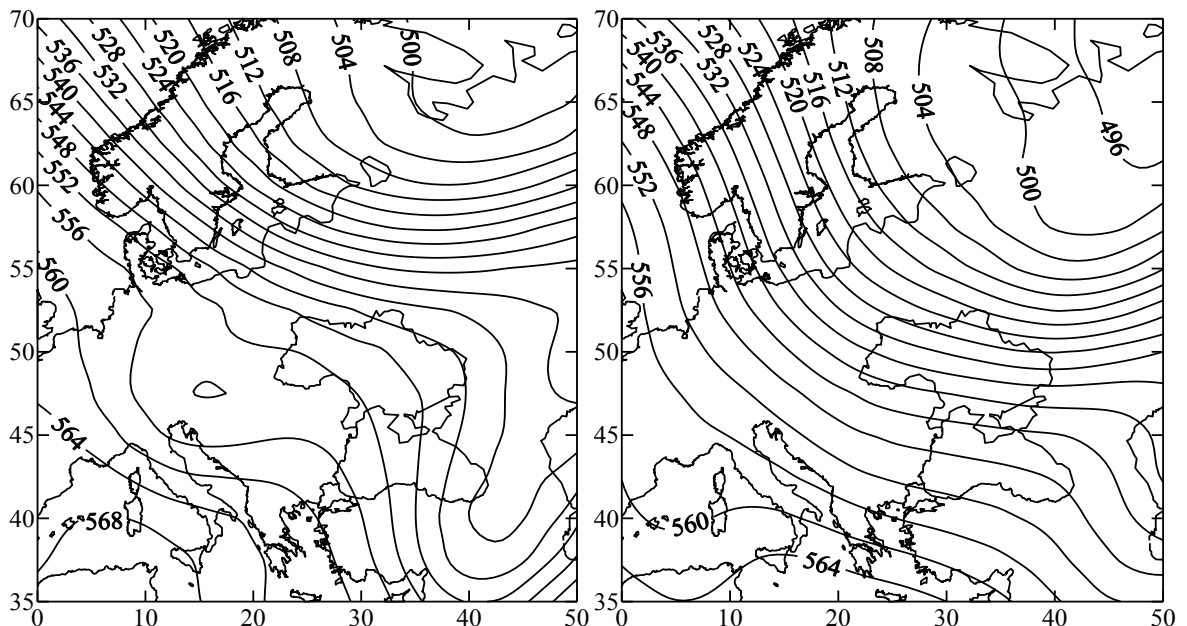


Рисунок 2.2 – Фактична (ліворуч) та прогностична (праворуч) карта АТ-500 гПа на 01.01.2009 р.

Візуальний метод дає задовільні результати, якщо є тільки декілька прогностичних величин або немає потреби в кількісних показниках верифікації. Але навіть якщо є потреба у кількісних величинах, доцільно час від часу розглядати графіки або карти, що дозволить визначити узгодженість прогнозу.

Проте, візуальний метод не є кількісним і має схильність до суб'єктивних зміщень під час інтерпретації результатів. Тому він має застосовуватися з обережністю у формальних процедурах верифікації.

2. Методи верифікації прогнозів безперервних величин

Відомо, що поля всіх метеорологічних величин є безперервними. Порушення неперервності може відбуватися в якихось екстремальних умовах, наприклад, при грозах, шквалах, смерчах.

Верифікація прогнозів безперервних величин визначає наскільки величини прогнозів відрізняються від спостережених величин і передбачає використання діаграм, наприклад, графіків розсіяння та графіків розподілу ймовірностей, а також різноманітних сумарних оцінок. Продемонструємо їх використання за допомогою даних про спрогнозовану та спостережену температуру (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Спрогнозована (T_n) та фактична (T_ϕ) температура в Одесі

| Дата | Факт (T_ϕ) _i | Прогноз (T_n) _i | Дата | Факт (T_ϕ) _i | Прогноз (T_n) _i |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 01.01.2009 | 1,0 | -0,3 | 11.01.2009 | -3,0 | -2,0 |
| 02.01.2009 | -1,4 | -0,6 | 12.01.2009 | 5,0 | 2,8 |
| 03.01.2009 | -4,0 | -3,8 | 13.01.2009 | 6,0 | 6,0 |
| 04.01.2009 | -1,0 | -2,8 | 14.01.2009 | 8,0 | 6,5 |
| 05.01.2009 | -1,0 | -1,4 | 15.01.2009 | 7,8 | 9,2 |
| 06.01.2009 | -3,4 | -7,6 | 16.01.2009 | 4,0 | 5,4 |
| 07.01.2009 | 0,0 | -4,1 | 17.01.2009 | 2,5 | 1,0 |
| 08.01.2009 | 1,6 | 0,3 | 18.01.2009 | 1,6 | -0,4 |
| 09.01.2009 | -2,0 | -1,6 | 19.01.2009 | 4,5 | 3,7 |
| 10.01.2009 | 2,1 | 0,2 | 20.01.2009 | 5,0 | 0,8 |

Графік розсіяння показує прогностичні величини у порівнянні з фактично спостереженими і відповідає на запитання: наскільки добре прогностичні дані відповідають спостереженим? У випадку точного прогнозу усі точки будуть зосереджені на або поблизу діагоналі. Як можна бачити з рис. 2.3, який побудований за даними таблиці 2.1, прогностичні значення температури у середньому були нижчими за спостережені. Якби

прогностичні значення T дорівнювали фактичним, всі точки розташовувались би на діагоналі (неперервна лінія), але більшість точок знаходиться нижче діагоналі і пунктирна лінія показує середнє заниження температури за прогнозом.

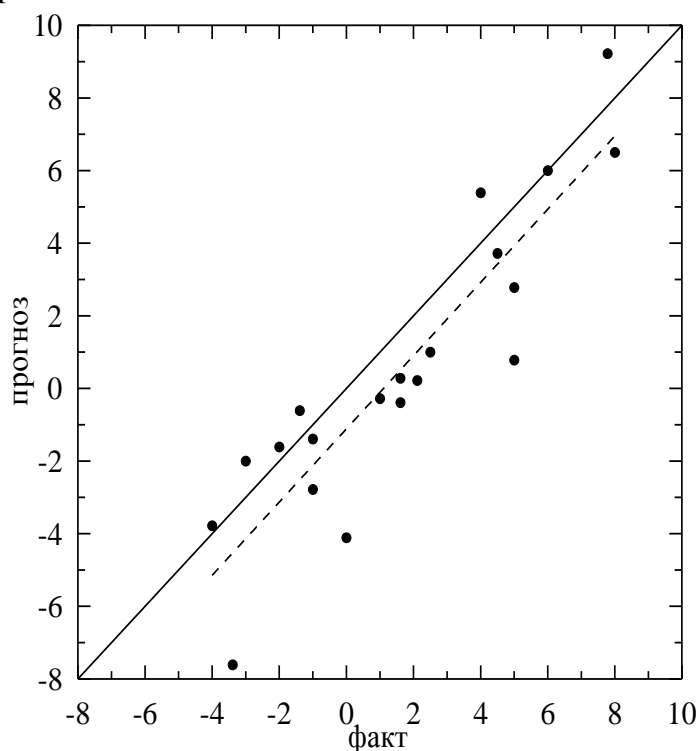


Рисунок 2.3 – Графік розсіяння для температури в Одесі

Рекомендації до вивчення теми 2: при вивченні цієї теми слід зрозуміти сенс таких якісних оцінок чисельних прогнозів, як точність, успішність, цінність, якість. Необхідно ознайомитися з різними методами оцінок якості чисельних прогнозів полів метеорологічних величин, прогнозів неперервних величин, а також альтернативних прогнозів, при цьому особливу увагу звернути на критерій успішності Пірсі-Обухова, який широко використовується в синоптичній практиці. (див. [3], с. 186-188 та 191).

Запитання для самоперевірки знань з розділу 2

1. Атмосферні процеси яких масштабів враховуються в моделях MM5, WRF?
2. Які процеси відносяться до процесів підсиноптичних масштабів?
3. Які хвилі враховуються фільтрованими моделями?
4. Що являє собою критерій Філіпса-Куранта-Леві, який його сенс?
5. Які координатні системи використовуються при запису рівнянь в моделях MM5 і WRF?
6. Як враховується рельєф місцевості в цих моделях?

7. Які чисельні методи застосовуються при реалізації моделей MM5 та WRF?
8. В якому вигляді використовуються схеми телескопізації у вказаних мезомасштабних моделях?
9. Дайте тлумачення успішності чисельного прогнозу.
10. Що являє собою цінність чисельного прогнозу?
11. Як можна оцінити точність прогнозу?
12. Що таке середньоквадратична помилка прогнозу, чим вона відрізняється від абсолютної?
13. В яких границях може змінюватися коефіцієнт кореляції між фактичними і прогностичними значеннями?
14. Що ви розумієте під значеннями температури T_B ?
15. Яких значень набуває відношення фактичної і прогностичної мінливостей у випадку точного прогнозу?

ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Ківганов А.Ф. та ін. Гідродинамічні моделі прогнозу погоди і сіткові методи їх реалізації. Одеса: ТЕС, 2002 – 180 с.
2. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди: підручник. Одеса: «Екологія», 2008. – 338 с.
3. Практикум з гідродинамічних методів прогнозу погоди: навч. посібник. Одеса: «ТЕС», 2012. – 208 с.
4. Методичні вказівки для практичних занять з теми: Параметризація променистого теплообміну. Одеса, 2013. – 30 с. (електронний варіант).
5. Хоменко Г.В. Гідродинамічне моделювання природних процесів: конспект лекцій. Одеса, 2014. – 202 с. (електронний варіант).
6. Хоменко Г.В., Хохлов В.М. Гідродинамічні моделі прогнозу погоди і сіткові методи їх реалізації: навч. посібник, 2-е вид. Одеса, 2015. – 202 с., (електронний варіант).
7. Хоменко Г.В., Бондаренко В.М. Гідродинамічні методи прогнозу погоди: конспект лекцій. Одеса, 2013. – 200 с. (електронний варіант).

Додаткова література

8. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1989.- 376 с.
9. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях : пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 134 с.

Інтернет – посилання

1. Електронна бібліотека ОДЕКУ - <http://library.odku.edu.ua/>
2. Український гідрометеорологічний центр - <https://meteo.gov.ua/>
3. Супутникова інформація - <https://www.eumetsat.int/website/home/index.html>

3. ОРГАНІЗАЦІЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗНАНЬ

Виконання контрольної роботи у міжсесійний період складається з відповідей на 3 запитання з теоретичного курсу (із ЗМ-Л1 – теми 1,2 і із ЗМ-Л2 – тема 2) і виконання двох практичних завдань з практичної частини курсу (із ЗМ-П1 – тема 2,3 і ЗМ-П2).

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

30-27 балів – бездоганні вичерпні відповіді на поставлені запитання, оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

26-22 балів – відповіді в основному правильні, але не повні; оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

21-18 балів – відповіді неповні та оформлені зі значними відхиленнями від вимог;

< 18 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 практичного завдання № 1 треба представити результати розрахунків всіх членів правих частин рівнянь руху, їх суми і прогностичні значення складових швидкості вітру.

При виконанні практичного завдання № 2 всі проміжні результати при розрахунку статистичних характеристик справджуваності чисельного прогнозу температури обов'язково треба представити у вигляді таблиці, форма якої розміщена в Додатку В.

Практична частина міжсесійної контрольної роботи складається з виконання двох завдань: «Прогностична модель атмосфери за повними рівняннями для північної півкулі та сіткові методи її реалізації» та «Розрахунок статистичних характеристик справджуваності чисельних прогнозів температури повітря».

Результати аналізу рівнянь ГТД, розрахованих прогностичних значень складових швидкості вітру 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 бути подана для повторної перевірки і остаточної оцінки викладача.

Поточна та підсумкова оцінка рівня знань студентів здійснюється за модульною системою. Розділи дисципліни розділені на 2 модулі по теоретичному курсу та 2 модулі по практичному.

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

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);
- залікова контрольна робота (ЗКР);
- систему накопичувальної підсумкової оцінки засвоєння студентом навчальної дисципліни (ПО).

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

$$ПО = 0,25 ЗКР + 0,75 (ОЗЕ + ОМ)$$

де ЗКР – залік, 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).

Залікова контрольна робота з дисципліни проводиться у письмовій формі з використанням модульних тестів. Один варіант 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 залікова оцінка розраховується за формулою:

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

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

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

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 запитання 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 відповідно до Графіку вивчення дисципліни та виконання змістовних модулів і завдань міжсесійної контрольної роботи. Всього 3 запитання - по два з першого та одного з другого розділів (максимальна кількість балів – 30). Виконання практичної частини міжсесійної контрольної роботи складається з розробки алгоритму і розрахунків прогностичних значень метеорологічних величин по моделі за повними рівняннями та оцінки якості чисельного прогнозу температури повітря (максимальна кількість балів – 50).

Оцінювання виконання завдань теоретичної частини контрольної роботи (загальна сума балів – 30) здійснюється за наступною шкалою:

30-27 балів – достатньо повне викладання теоретичного матеріалу з тем 1, 2 (ЗМ-Л1) та теми 1 (ЗМ-Л2) та оформлення згідно з вимогами чинних нормативних документів;

26-22 балів – викладання матеріалу за вказаними темами є непослідовним і недостатньо повним; оформлена згідно з вимогами;

21-18 бали – теоретична частина викладена не за всіма темами, є недоліки в оформленні;

< 18 балів – матеріал викладено дуже стисло без пояснень фізичної суті рівнянь, межових умов, способів інтегрування; неохайне оформлення.

Оцінювання виконання завдань практичної частини контрольної роботи (загальна сума балів – 50) здійснюється за наступною шкалою:

50-45 балів – завдання виконані вірно, у повному об'ємі, оформлені згідно з вимогами чинних нормативних документів;

46-37 балів – є деякі помилки в розрахунках, а також порушення при оформленні завдання;

36-30 балів – є помилки в розрахунках, не зроблено висновків з аналізу отриманих результатів; є недоліки в оформленні завдання;

< 30 балів – більшість розрахунків, передбачених завданням, неправильні.

Робота студентів під час аудиторних занять оцінюється в 20 балів.

Завдання до виконання міжсесійної контрольної роботи

1. В теоретичній частині МКР, яка є загальною для всіх варіантів, з розділу 1 (ЗМ-Л1) треба:

1) надати опис системи рівнянь ГТД (в p , ξ і σ – системах координат) з початковими та межовими умовами і вказати переваги та недоліки різних систем (максимальна сума балів – 10);

2) перелічити основні принципи побудови прогностичних моделей за повними рівняннями для великомасштабних процесів атмосфери, а також основні схеми інтегрування повних рівнянь (максимальна сума балів – 10).

2. З розділу 2 (ЗМ-Л2) в теоретичній частині МКР, яка також є загальною для всіх варіантів, треба:

1) в загальних рисах стисло описати скінченнорізницеві моделі MM5 і WRF та надати уявлення про основні методи верифікації чисельних прогнозів погоди (максимальна сума балів – 10).

Основна та додаткова література вказана на стор. 24.

Виконання практичних завдань здійснюється згідно з методичними вказівками (Додатки А і В). Вихідна інформація для виконання цих завдань розміщена в Додатках Б і Г. Максимальна сума балів за ДЗ1 -35, за ДЗ2 – 15.

Номер вибраних варіантів як для першого, так і для другого завдань повинен відповідати останній цифрі номера залікової книжки.

Питання для підготовки до залікової контрольної роботи знаходяться в Додатку Д.

ДОДАТОК А

Практичне завдання № 1 (ЗМ-П1)

Завдання: розрахувати майбутні значення зональної (u) і меридіональної (v) складових швидкості вітру в одній точці (хрестик) шахової сітки на одному часовому кроці; методику розрахунку майбутніх значень невідомих температури (T) і висоти ізобаричної поверхні (H) розписати у вигляді алгоритму.

Методичні вказівки до виконання завдання.

Перші моделі за повними рівняннями базувалися на системі рівнянь ГТД в ізобаричних координатах (p або ξ – системах координат). Нагадаємо, що ξ – система – це ізобарична система, де вертикальна координата є безрозмірною ($\xi = \frac{P}{P_0}$), де P – поточна координата, а $P_0 = 1000$ гПа). Система рівнянь ГТД в p - координатах без масштабного множника, який ураховує сферичність Землі, має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial z} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \tau \frac{\partial u}{\partial p} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + \ell v; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \tau \frac{\partial v}{\partial p} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} - \ell u; \\ T &= -\frac{Pg}{R} \frac{\partial H}{\partial p}; \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial p} &= 0; \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{c^2}{RP} \tau + \frac{RT}{C_p P} E &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.1})$$

Ця система описує великомасштабні рухи вільної атмосфери, тому відсутні члени, які описують турбулентну і молекулярну в'язкість. Якщо задача чисельного прогнозу розв'язуються для короткострокового прогнозу (до 3 діб), рівняння припливу тепла застосовуються в адіабатичному наближенні, тобто без зовнішніх припливів тепла (E), які частково враховуються в початкових даних та межових умовах.

В системі (A.1) умовні позначення загальноприйняті, але нагадаємо їх:

x, y, t – горизонтальні координати і час;

p – тиск;

u, v – складові швидкості вітру;

l – параметр Коріоліса;

T – температура повітря в градусах Кельвіна;

H – висота ізобаричної поверхні;

$c^2 = \frac{R^2 T}{g} (\gamma_a - \gamma)$ - параметр статичної стійкості, де R – пітома газова

стала, g – прискорення сили тяжіння, γ_a і γ – сухоадіабатичний та геометричний градієнти температури.

Система (А.1) складається із п'яти рівнянь, містить 5 невідомих (u , v , τ , T і H), тобто є замкненою і може бути розв'язана.

Відомо, що для отримання єдиного розв'язку треба задати початкові і межові умови. Оскільки система (А.1) містить в собі 3 прогностичних рівняння, початкові умови задаються для метеовеличин u , v і T . В загальному вигляді початкові умови можна записати таким чином:

$$f(x, y, p, t) = f((x, y, p, t_0),$$

де $f = \{u, v, T\}$, а t_0 – строк спостережень, тобто початкові дані завжди беруться із спостережень.

При заданні межових умов на верхній і нижній межах атмосфери вважається, що:

при $p \rightarrow 0$ $\tau \rightarrow 0$ – верхня межа умова (ВМУ);

при $p=p_0=1000$ гПа $\frac{\partial H_0}{\partial t} + \left(u_0 \frac{\partial H_0}{\partial x} + v_0 \frac{\partial H_0}{\partial y} \right) - \frac{\tau_0}{p_0 g} = 0$, де індекс «0» є

ознакою того, що відповідні функції належать до рівня $p=p_0=1000$ гПа, тобто H_0 - висота 1000 гПа поверхні, яка в ізобаричних координатах є нижньою межею атмосфери (моделі).

Розглянемо алгоритм розрахунку майбутніх значень складових швидкості вітру. Для цього доцільно рівняння горизонтального руху системи (А.1) представити так:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - lv = -F_u, \text{ де } F_u = \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \tau \frac{\partial u}{\partial p} + g \frac{\partial H}{\partial x} \right); \quad (\text{A.2})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + lu = -F_v, \text{ де } F_v = \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \tau \frac{\partial v}{\partial p} + g \frac{\partial H}{\partial y} \right).$$

Формули показують, що для розрахунку прогностичних членів $\left(\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t} \right)$ треба розрахувати функції F_u, F_v . За начальними даними можна розрахувати адвективні члени, градієнти висоти H , а для обчислення конвективних членів треба знати вертикальну швидкість τ , яку не можна отримати із спостережень. **Отже, розв'язання задачі про знаходження $\frac{\partial u}{\partial t}$ і $\frac{\partial v}{\partial t}$ треба починати з розрахунку ізобаричної вертикальної швидкості.** Її можна отримати шляхом інтегрування рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \tau}{\partial p} = - \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -D_s.$$

Після інтегрування цього рівняння отримаємо:

$$\tau_{p'} = \tau_p - \int_p^{p'} D_s dP.$$

Інтегрування виконується зверху вниз, оскільки на верхній межі атмосфери можна поставити більш коректну межу умову відносно τ_p .

Методика розрахунку τ_p викладена в навчальному посібнику [1], стор. 175-176. Формули Б.10, Б.11 показують, що для обчислення τ використовується кинематичний метод, який широко використовується в синоптичній практиці. При виконанні даного завдання ізобарична вертикальна швидкість задається.

Для інтегрування системи рівнянь горизонтального руху використовується напівнеявна схема, відповідно до якої лінійні члени (всі або деякі) осереднюються за часом. В нашому випадку осереднюються лінійні члени, які описують проекції сили Коріоліса. Лінійні члени $g \frac{\partial H}{\partial x}$, $g \frac{\partial H}{\partial y}$ не осереднюються і входять до правої частини рівнянь, які позначені F_u і F_v .

Оскільки в моделі, що використовується для обчислення майбутніх значень невідомих, скінченнорізницева апроксимація похідних здійснюється за допомогою шахової сітки, то завжди виконується операція осереднення.

Наприклад, при скінченнорізницевій апроксимації похідної $\frac{\partial f}{\partial x}$ осереднення

виконується по координаті y ; це записується так: $\frac{\overline{\partial f}^y}{\partial x}$ або \overline{f}_x^y , де нижній

індекс показує координату, по якій береться похідна, а верхній – по якій

виконується осереднення; інші похідні записуються так: $\frac{\overline{\partial f}^x}{\partial y} = f_y^x$; $\frac{\overline{\partial f}^{xy}}{\partial P} = \overline{f}_P^{xy}$;

\overline{f}^{xy} - осереднення по x і y (ця процедура виконується для отримання значень метеовеличин в точці розрахунку (точці прогнозу-хрестіку) за даними в чотирьох вузлах-кружках (рис. А.1).

З використанням вказаних позначок праві частини рівнянь (А.2) записуються в більш компактній формі:

$$F_u = \left(\overline{u}^{xy} \overline{u}_x^y + \overline{v}^{xy} \overline{u}_y^x + \tau \overline{u}_p^{xy} + g \overline{H}_x^y \right); \quad (\text{A.3})$$

$$F_v = \left(\overline{u}^{\text{xy}} \overline{v}_x^{\text{xy}} + \overline{v}^{\text{xy}} \overline{v}_y^{\text{xy}} + \tau \overline{v}_p^{\text{xy}} + g \overline{H}_y^{\text{xy}} \right).$$

Відповідно до шаблону (рис. А.1) формули для похідних мають вигляд:

$$\left(\overline{u}_x^{\text{y}} \right)_{i,j,k} = \frac{1}{4\delta x} (u_{i+1,j+1} + u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j+1} - u_{i-1,j-1}); \quad (\text{A.4})$$

$$\left(\overline{u}_y^{\text{x}} \right)_{i,j,k} = \frac{1}{4\delta y} (u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j+1} - u_{i-1,j-1} - u_{i+1,j-1}); \quad (\text{A.5})$$

$$\overline{u}_{i,j,k}^{\text{xy}} = \frac{1}{4} (u_{i+1,j+1} + u_{i+1,j-1} + u_{i-1,j+1} + u_{i-1,j-1}). \quad (\text{A.6})$$

Аналогічні формули використовуються для інших функцій (v і H).

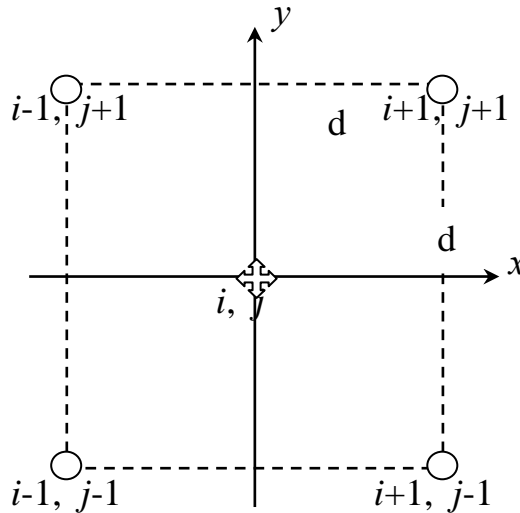


Рис. А.1 - Шаблон шахової сітки, d -крок.

Формула для конвективного члена в формулі для F_u (А.3) має вигляд:

$$\tau_{i,j,k} \left(\overline{u}_p^{\text{xy}} \right)_{i,j,k} = \frac{\tau_{i,j,k}}{4\delta p} \left[(u_{i+1,j+1,k+1} + u_{i-1,j+1,k+1} + u_{i-1,j-1,k+1} + u_{i+1,j-1,k+1}) - (u_{i+1,j+1,k} + u_{i-1,j+1,k} + u_{i-1,j-1,k} + u_{i+1,j-1,k}) \right]. \quad (\text{A.7})$$

де i, j – безрозмірні горизонтальні координати по x та y ; $\delta p = P_{k+1} - P_k$, k – вертикальна координата, яка вказує ізобаричну поверхню (k – розрахункова ізобарична поверхня, $k+1$ – поверхня, що розташована вище, $k-1$ – нижче поверхні k). Наприклад, якщо розрахунки виконуються для ізобаричної

поверхні $P=400$ гПа – її вертикальна координата – k , для поверхні $P=500$ гПа – координата $k-1$, для $P=300$ – $k+1$; $\delta P = P_{k+1} - P_{k-1}$ – для центральної різниці.

Формули (А.2) в скінченнорізницевої формі з використанням напівневної схеми інтегрування матимуть вигляд

$$\left. \begin{aligned} \frac{u^{s+1} - u^s}{\delta t} - l \left(\frac{v^{s+1} + v^s}{2} \right) &= -F_u^s; \\ \frac{v^{s+1} - v^s}{\delta t} + l \left(\frac{u^{s+1} + u^s}{2} \right) &= -F_v^s. \end{aligned} \right\} \quad (\text{А.8})$$

Просторові координати не вказуємо, тому що розрахунки виконуються в одному вузлі сітки.

Система (А.8) містить дві невідомі величини, а саме – майбутні значення складових швидкості вітру u^{s+1} , v^{s+1} . Ця система є замкненою і її можна розв'язати відносно вказаних невідомих.

Якщо із системи (А.8) виключити спочатку невідому v^{s+1} , отримаємо рівняння для u^{s+1} , а потім, виключаючи u^{s+1} , отримаємо рівняння відносно невідомої v^{s+1} .

$$u^{s+1} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l\delta t}{2} \right)^2 \right]} \left\{ \left[1 - \left(\frac{l\delta t}{2} \right)^2 \right] u^s + l\delta t v^s - \delta t F_u^s - \frac{l(\delta t)^2}{2} F_v^s \right\}, \quad (\text{А.9})$$

$$v^{s+1} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{l\delta t}{2} \right)^2 \right]} \left\{ \left[1 - \left(\frac{l\delta t}{2} \right)^2 \right] v^s - l\delta t u^s - \delta t F_v^s + \frac{l(\delta t)^2}{2} F_u^s \right\}. \quad (\text{А.10})$$

В (А.9), (А.10) u^s , v^s – відомі із спостережень; F_u^s , F_v^s – також відомі (розраховуються за формулами (А.3 - А.7)); l – параметр Коріоліса, δt – часовий крок. Для розрахунку похідних за горизонтальними координатами треба обчислити кроки d_x і d_y .

Вихідна інформація (u , v , H) для розрахунків задана у вузлах широтно-довготної сітки з кроком 2,5 град. В такому разі $d_y = 2,5$ град*111 км/град = 277,5 км; $d_x = 277,5 * \cos \varphi$, де φ – широта точки розрахунку.

Для розрахунків по формулах (А.9, А.10) треба знати часовий крок. Відповідно до критерію Куранта-Фридрихса-Леві для стійкого розв'язку повинна виконуватися нерівність

$$d \geq C_{\max} \delta t \quad \text{або} \quad \delta t \leq \frac{d}{C_{\max}},$$

де C_{\max} – максимальна швидкість великомасштабних хвиль, які враховуються моделлю ($C_{\max} \approx 150$ км/год – швидкість хвиль Россбі).

Отже, в такому випадку

$$\delta t \leq \frac{277,5 \text{ км}}{150 \frac{\text{км}}{\text{год}}} \approx 1,8 \text{ год.}$$

Але оскільки моделі за повними рівняннями окрім хвиль Россбі враховують гравітаційні хвилі, швидкість яких може досягати $300 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, то для їх врахування треба мати менший часовий крок. Оцінимо його для швидкості гравітаційних хвиль 150 м/с .

$$\delta t \leq \frac{277,5 \text{ км}}{150 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}} = \frac{277,5 \cdot 10^3 \text{ м}}{150 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}} \approx 1,8 \cdot 10^3 \text{ с} = 1800 \text{ с}, \text{ або } \delta t \leq 30 \text{ хв.}$$

Для хвиль з більшою фазовою швидкістю δt буде ще меншим.

В якості δt для зручності розрахунків візьмемо 10 хв , тобто $\delta t = 600 \text{ с} = 6 \cdot 10 \text{ с}$. (при розрахунках зручно крок за часом записувати так).

Вихідні дані (u , v , H) для розрахунків беруться із тих же таблиць, що були застосовані при виконанні попередньої контрольної роботи (додаток Б), але ця інформація задана у вузлах звичайної сітки, тому при використанні даних об'єктивного аналізу з кроком $2,5^0$ по широті і довготі значення u , v і H треба виписати для сітки з подвійним кроком (для шахової сітки).

Наведемо приклад для варіанту 0.

Нехай розрахунковий вузол має координати 45^0 півн.ш. і 30^0 сх.д. (вузол хрестик). У вузлі сітки, яка зображена на рисунку А.1 значення H , u , і v можна виписати таким чином:

| | |
|--------|--------|
| 310 | 309 |
| ○ -5.0 | ○ -1.7 |
| 6.5 | 4.3 |



| | |
|--------|--------|
| 313 | 311 |
| ○ -5.4 | ○ -5.3 |
| 0.9 | 1.4 |

Рис. А.2 – Розміщення вихідної інформації у вузлах шахової сітки (вище вузла – H , дам; нижче – $u \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$; праворуч – $v \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$)

Таким чином виписується інформація і на інших ізобаричних поверхнях. Оскільки вертикальна швидкість τ вважається відомою (вона однакова для всіх варіантів), то для розрахунку конвективних членів в виразах для F_u і F_v

достатньо мати інформацію на двох ізобаричних поверхнях (наприклад, 700 і 400, або 400 і 300). Тоді похідні $\frac{\partial u}{\partial P}$, $\frac{\partial v}{\partial P}$ розраховуються через однобічні різниці.

Порядок виконання завдання № 1

- формули (А.4), (А.5) для розрахунку похідних $\frac{\partial u}{\partial x}$, $\frac{\partial u}{\partial y}$ привести до робочого вигляду, тобто звести всі сталі величини до одного коефіцієнту, враховуючи лінійний крок сітки по осі у ($\delta y = 277,5$ км, або $2,775 \cdot 10^5$ м) та по осі х ($\delta x = 2,775 \cdot \cos \varphi \cdot 10^5$ м); f в нашому випадку – це u , v і H ; φ – широта точки розрахунку (вузла-хрестика); при отриманні коефіцієнтів для похідних $\frac{\partial H}{\partial x}$, $\frac{\partial H}{\partial y}$ треба врахувати, що висота ізобаричної поверхні в таблицях (додаток Б) задається в метрах. Якщо використовувати для розрахунків похідних саме ці величини, то коефіцієнти в робочих формулах для $\frac{\partial H}{\partial x}$, $\frac{\partial H}{\partial y}$ і порядок будуть такими ж, як і для $\frac{\partial u}{\partial x}$, $\frac{\partial u}{\partial y}$ або $\frac{\partial v}{\partial x}$, $\frac{\partial v}{\partial y}$; буде іншою тільки розмірність: похідні від u і v мають розмірність c^{-1} , а похідні від H є безрозмірними $\left(\left[\frac{\partial H}{\partial x} \right] = \left[\frac{\partial H}{\partial y} \right] = \frac{m}{m} \right)$; далі слід

- обчислити члени, які входять до правих частин рівнянь руху, за допомогою отриманих робочих формул і формули (А.6);

- розрахувати функції F_u і F_v з використанням виразів (А.3);

- за формулами (А.9), (А.10) розрахувати майбутні значення $u_{i,j,k}^{s+1}$, $v_{i,j,k}^{s+1}$, тобто чисельний прогноз складових вітру на 10 хвилин, оскільки часовий крок складає $6 \cdot 10^2$ с.

В процесі розрахунків слід стежити за розмірностями і порядками членів, що розраховуються. Доцільно всі члени приводити до одного порядку, тоді порядок можна винести за дужки, а відповідні операції виконувати для множників. Зручно всі члени зводити до порядку 10^{-5} або 10^{-4} .

Для всіх варіантів лінійна вертикальна швидкість є відомою і складає $-5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, тобто $w = -5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, вертикальні токи нисхідні. Оскільки про розрахунок конвективних членів в функціях F_u і F_v потрібна ізобарична вертикальна швидкість, то її слід обчислити по формулі

$$\tau = -\rho g w,$$

для густини візьмемо значення $\rho = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ і $w = -5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Слід пам'ятати, що одиниця тиску $\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ або $\text{Па} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2}$, а $\text{гПа} = 10^2 \text{ Па}$.

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 | 0.10 | -1.10 | -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 |

Вариант 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 | 27.50 | 30.00 | 32.50 | 35.00 | 37.50 | 40.00 | 42.50 |
|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 55.00 | 15.00 | 17.50 | 20.00 | 22.50 | 25.00 | 27.50 | 30.00 | 32.50 | 35.00 | 37.50 | 40.00 | 42.50 |
| 52.50 | 1.00 | -1.90 | -1.40 | -1.50 | -1.30 | -1.10 | -1.10 | -1.40 | -1.70 | -1.80 | -1.80 | -1.70 |
| 50.00 | 4.30 | 5.70 | 7.00 | 8.10 | 8.70 | 8.70 | 8.10 | 7.20 | 6.40 | 6.00 | 5.90 | 6.00 |
| 47.50 | -0.70 | 2.70 | 6.40 | 9.90 | 12.60 | 14.30 | 15.00 | 15.00 | 14.80 | 14.70 | 14.60 | 14.60 |
| 45.00 | -10.90 | -7.30 | -2.30 | 3.60 | 9.20 | 13.80 | 17.00 | 18.90 | 19.70 | 19.70 | 19.40 | 18.90 |
| 42.50 | -13.40 | -11.30 | -6.90 | -1.10 | 5.10 | 10.40 | 14.20 | 16.30 | 16.80 | 16.40 | 15.70 | 15.30 |
| 40.00 | 0.00 | 0.10 | 1.80 | 4.30 | 6.80 | 8.50 | 9.10 | 8.70 | 7.60 | 6.60 | 6.40 | 7.80 |
| 37.50 | 21.00 | 20.10 | 18.60 | 16.20 | 12.70 | 8.40 | 4.20 | 0.90 | -1.00 | -1.10 | 0.80 | 4.90 |
| 35.00 | 32.40 | 31.30 | 28.20 | 22.80 | 15.40 | 7.60 | 1.50 | -1.60 | -1.80 | 0.40 | 4.40 | 9.60 |
| 30.00 | 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

Практичне завдання № 2 (ЗМ-П2)

Завдання: розрахувати статистичні характеристики справджуваності чисельного прогнозу температури повітря.

Порядок виконання завдання

1. Розрахувати деякі статистичні характеристики справджуваності чисельного прогнозу температури за вихідними, фактичними та прогностичними даними.

2. Зробити аналіз отриманих оцінок та висновки щодо якості чисельного прогнозу температури. [3] – с. 181-184.

В задачах верифікації чисельних моделей прогнозу найчастіше використовуються загальноприйняті характеристики помилок прогнозу, до яких належать: середня помилка прогнозу, середньоквадратична помилка прогнозу, середньоквадратична фактична мінливість, середньоквадратична прогностична мінливість, середньоквадратична відносна помилка прогнозу, відношення середньої квадратичної мінливості до середньої квадратичної фактичної мінливості і коефіцієнти кореляції між фактичними та прогностичними змінами.

Розглянемо основні статистичні характеристики якості чисельних прогнозів неперервних величин, до яких, зокрема, відноситься температура повітря.

Будемо вважати, що прогноз деякої метеорологічної величини f являє собою сукупність скалярних величин, тобто чисел, кожне з яких відноситься до однієї точки i у просторі або часі (i приймає значення 1,2,3, ..., N, де N – загальна кількість точок у просторі або часі. В нашому випадку N – кількість днів у місяці).

Введемо позначення f_e, f_n, f_ϕ - відповідно для вихідних, прогностичних і фактичних точкових значень величини f і позначення

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i \quad (\text{B.1})$$

для операції осереднення у статистичному сенсі.

Отже формули для статистичних оцінок якості прогнозу при введених позначеннях будуть мати вигляд:

1) середня помилка прогнозу

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(f_\phi)_i - (f_n)_i], \quad (\text{B.2})$$

де N - кількість точок у просторі або у часі.

Формула (В.2) показує, що у випадку точного прогнозу помилка δ дорівнює нулю. Якщо помилка розраховується за даними прогностичних і фактичних значень f у вузлах просторової сітки, то δ являє собою середню помилку для території, яку покриває ця сітка точок, а якщо ми маємо значення f_n і f_ϕ у вигляді часових рядів, δ характеризує середню помилку прогнозу за обраний період часу. Таким чином, у залежності від того, які ряди фактичних і прогностичних величин використовуються для обчислення помилки, одержуються різні оцінки: у першому випадку δ дозволяє оцінити точність чисельного прогнозу в різних частинах баричного поля при фіксованих синоптичних ситуаціях, а в другому випадку δ показує точність прогнозу еволюції метеорологічних полів.

Слід відзначити, що середня помилка є простою та відомою характеристикою; її ще називають адитивним зміщенням. Проте вона не визначає величини помилок, а також відповідність між прогностичними та фактичними величинами, тому можна одержати найкращу оцінку (близьку до нуля), і для поганих прогнозів, коли великі помилки мають протилежні знаки і компенсують одна одну.

- 2) середня абсолютна помилка визначає, якою є середня величина помилок прогнозу незалежно від знаку відхилень. Формула для середньої абсолютної помилки (δ_a) має вигляд

$$\delta_a = \frac{1}{N} \left| \sum_{i=1}^N (f_\phi)_i - (f_n)_i \right|. \quad (\text{В.3})$$

Як видно із формули (В.3), у випадку точного прогнозу δ_a дорівнює нулю. Недоліком цієї характеристики є те, що вона не вказує на спрямованість відхилень, тобто не можна зрозуміти, модель занижує чи підвищує прогностичні значення.

- 3) середньоквадратична помилка

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_n - f_\phi)_i^2}. \quad (\text{В.4})$$

Із формули (В.4) випливає, що чим більша величина δ , тим гірше прогноз, а у разі точного прогнозу δ дорівнює нулю.

Середньоквадратична помилка, як і середня абсолютна, не вказує на спрямованість відхилень прогностичних значень від фактичних, але на відміну від абсолютної помилки ця характеристика в більшій мірі враховує внесок від великих помилок, тому δ завжди більша за δ_a і, якщо перевищення велике, то це свідчить про те, що модель допускає великі або дуже великі помилки в деяких точках за простором чи за часом.

- 4) середньоквадратична фактична мінливість

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_{\phi} - f_{\epsilon})_i^2}. \quad (\text{B.5})$$

5) середньоквадратична прогностична мінливість

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_n - f_{\epsilon})_i^2}. \quad (\text{B.6})$$

Характеристики (B.4), (B.5) розраховуються для обчислення таких оцінок, як середня квадратична відносна помилка прогнозу ϵ , відношення η та коефіцієнта кореляції.

б) середньоквадратична відносна помилка прогнозу

$$\epsilon = \frac{\sigma}{\sigma_{\phi}}. \quad (\text{B.7})$$

У випадку точного прогнозу ϵ дорівнює нулю.

7) відношення середньоквадратичної прогностичної мінливості до середньоквадратичної фактичної мінливості

$$\eta = \frac{\sigma_n}{\sigma_{\phi}}. \quad (\text{B.8})$$

Формула показує, що у разі точного прогнозу $\eta=1$. Чим більше η відрізняється від одиниці, тим гірше прогноз. При цьому, якщо $\eta < 1$, то чисельна модель занижує значення метеорологічних величин в порівнянні з фактичними, а якщо $\eta > 1$, то прогностичні значення завищені.

8) коефіцієнт кореляції між прогностичними і фактичними величинами

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(f_{\phi})_i - \bar{f}_{\phi}] \cdot [(f_n)_i - \bar{f}_n]}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(f_{\phi})_i - \bar{f}_{\phi}]^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(f_n)_i - \bar{f}_n]^2}}, \quad (\text{B.9})$$

$$\text{де } \bar{f}_{\phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_{\phi})_i; \quad \bar{f}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_n)_i.$$

Ця характеристика визначає, наскільки добре прогностичні значення відповідають фактичним, тобто спостереженим. Величини r лежать у

діапазоні від 1 до -1, причому у випадку досить точного прогнозу r наближається до плюс одиниці. Візуально коефіцієнт кореляції показує, наскільки близько лежать точки на графіку розсіяння до діагональної прямої лінії. Зауважимо, що ця характеристика є достатньою мірою лише лінійного зв'язку між прогностичними та фактичними величинами.

Рекомендації до виконання завдання.

Згідно з формулами (В.1 - В.9) статистичних характеристик треба розрахувати середньомісячну температуру повітря, середню помилку прогнозу, середню абсолютну помилку, середньоквадратичну та середньоквадратичну відносну помилку, а також відношення середньоквадратичних мінливостей (фактичної і прогностичної) і коефіцієнт кореляції.

При виконанні цього завдання зручно побудувати таблицю для запису проміжних результатів розрахунків (див. табл. В.1).

Сума перших двох колонок використовується для отримання середніх значень \bar{T}_ϕ та \bar{T}_n . Суми колонок 5, 6, 7 необхідні для обчислення помилок δ , δ_a , σ . Суми колонок з номерами 10-11 використовуються для розрахунку середньоквадратичної мінливості i , нарешті, суми, що отримані в колонках 12-15 – для коефіцієнта кореляції.

При аналізі результатів треба вказати значення отриманих характеристик прогнозу і зробити висновок щодо якості чисельного прогнозу температури. При цьому слід порівняти розраховані кількісні оцінки з їх значеннями у випадку точного прогнозу.

Таблиця В.1. Результати оцінки якості чисельного прогнозу температури. Місяць

| Дата | T_{ϕ} | T_n | T_{ε} | $T_{\phi} - T_n$ | $ T_{\phi} - T_n $ | $(T_{\phi} - T_n)^2$ | $T_{\phi} - T_{\varepsilon}$ | $T_n - T_{\varepsilon}$ | $T_{\phi} - T_{\varepsilon}$ | $(T_{\phi} - T_{\varepsilon})^2$ | $(T_n - T_{\varepsilon})^2$ | $(T_{\phi} - T_n)$ | $(T_{\phi} - T_{\varepsilon})^2$ | $(T_n - T_{\varepsilon})^2$ |
|----------------|------------|-------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | |
| N=30 | | | | | | | | | | | | | | |
| або | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| $\sum_{i=1}^N$ | | | | | | | | | | | | | | |

ДОДАТОК Г

Варіант 0

Березень, 2007

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

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

Варіант 1

Квітень, 2007

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

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

Варіант 2

Жовтень, 2006

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

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

Варіант 3

Листопад, 2006

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

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

Варіант 4

Березень, 2007

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

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

Варіант 5

Квітень, 2007

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

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

Варіант 6

Березень, 2007

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

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

Варіант 7

Квітень, 2007

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

| Дата | T_{ϕ} | T_{Π} | T_{B} |
|------|------------|-----------|---------|
| 16 | 7,3 | 9,4 | 7,5 |
| 17 | 7,2 | 6,1 | 7,3 |
| 18 | 6,6 | 5,6 | 7,2 |
| 19 | 7,7 | 10,0 | 6,6 |
| 20 | 9,1 | 11,2 | 7,7 |
| 21 | 9,6 | 10,8 | 9,1 |
| 22 | 8,8 | 9,6 | 9,0 |
| 23 | 9,3 | 11,2 | 8,8 |
| 24 | 11,3 | 13,4 | 9,3 |
| 25 | 12,1 | 13,5 | 11,3 |
| 26 | 12,3 | 13,8 | 12,1 |
| 27 | 13,7 | 15,0 | 12,3 |
| 28 | 11,0 | 12,1 | 13,7 |
| 29 | 7,8 | 9,3 | 11,0 |
| 30 | 9,0 | 10,4 | 7,8 |

Варіант 8

Березень, 2007

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

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

Варіант 9

Квітень, 2007

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

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

Варіант 10

Жовтень, 2006

| Дата | T_{ϕ} | T_{Π} | T_{B} |
|------|------------|-----------|---------|
| 1 | 15,0 | 16,1 | 14,3 |
| 2 | 17,6 | 15,4 | 15,0 |
| 3 | 16,7 | 15,1 | 16,4 |
| 4 | 18,2 | 17,3 | 17,3 |
| 5 | 21,1 | 22,4 | 20,5 |
| 6 | 19,1 | 20,3 | 18,1 |
| 7 | 15,7 | 14,1 | 14,9 |
| 8 | 13,6 | 12,6 | 12,3 |
| 9 | 12,4 | 15,1 | 11,2 |
| 10 | 12,5 | 13,0 | 10,4 |
| 11 | 13,5 | 12,1 | 11,5 |
| 12 | 11,7 | 10,7 | 10,6 |
| 13 | 10,8 | 11,9 | 9,4 |
| 14 | 10,3 | 12,4 | 9,8 |
| 15 | 10,1 | 8,3 | 8,7 |

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

Варіант 11

Листопад, 2006

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

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

ДОДАТОК Д

Перелік питань до залікової контрольної роботи (ЗКР)

1. Загальні принципи побудови і чисельної реалізації моделей за повними рівняннями.
2. Повні рівняння в ξ і σ – системах координат. Постановка початкових та межових умов.
3. Розв'язання повної системи рівнянь сітковими методами.
4. Шахові сітки точок та використання їх для чисельної реалізації моделей за повними рівняннями.
5. Схеми інтегрування за часом: явні, неявні, напівнеявні. Побудова скінченнорізницевого схем рівнянь гідротермодинаміки.
6. Суть методу інтегрування системи рівнянь кроками за часом.
7. Процедура інтегрування повної системи рівнянь гідротермодинаміки в ξ і σ – системах координат.
8. Обчислювальна нестійкість. Критерій Куранта-Фрідрікса-Леві.
9. Методи врахування в моделях процесів підсиноптичних масштабів.
10. Даунскелінг з використанням вкладених сіток.
11. Оперативна модель атмосфери MM5, її загальна характеристика.
12. Оперативна модель атмосфери WRF, її загальна характеристика.
13. Якісні характеристики справджуваності чисельних прогнозів погоди.
14. Візуальний метод верифікації прогнозів.
15. Методи верифікації прогнозів безперервних величин.
16. Методи верифікації альтернативних прогнозів.
17. Статистичні характеристики якості чисельних прогнозів.
18. Проблема постановки початкових та межових умов в чисельних моделях.
19. Можливості використання продукції чисельних моделей в синоптичній практиці.
20. Основні вимоги до оперативних моделей чисельного прогнозу погоди.

Основна та додаткова література вказана на стор. 24.