

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для практичних робіт з навчальної дисципліни

«Авіаційні прогнози погоди»

**на тему: «Оптимальна стратегія використання прогностичної  
інформації»**

для студентів денної форми навчання спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
рівень вищої освіти бакалавр

Методичні вказівки для виконання практичних робіт на тему «Оптимальна стратегія використання прогностичної інформації» при вивченні дисципліни «Авіаційні прогнози погоди» для студентів IV курсу денної форми навчання за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти бакалавр. / Укладачі: к.ф.-м.н, Мансарлійський В. Ф., к.геогр.н., доц. Грушевський О.М., Шанюк О.В. – Одеса, ОДЕкУ, 2020. – 37 с.

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 Застосування регресійного аналізу для апроксимації прогностичних залежностей .....	5
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	5
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2 Застосування дискримінантного аналізу у задачах прогнозу погоди .....	15
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	15
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	18
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 Оцінка успішності категоричних прогнозів .....	22
ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	22
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	26
ЛІТЕРАТУРА.....	28
ДОДАТКИ.....	29

## ПЕРЕДМОВА

Розробкою прогнозів займаються практично у всіх областях людської діяльності. Залежно від об'єкту дослідження розрізняють науково-технічні, природничі та суспільні (соціальні) прогнози. При розробці цих типів прогнозів між ними існує постійний інформаційний взаємозв'язок. Сполучною ланкою завжди виступає інформація про стан навколишнього середовища. Особливе місце у ній займають метеорологічні прогнози, які відносяться до природничих.

*Метою* методичних вказівок є формування у студентів вмінь щодо вибору стратегії оптимального використання метеорологічної інформації і практичних навичок із застосування прийомів регресійного і дискримінантного аналізу для розробки способів прогнозу метеорологічних величин і явищ погоди.

Після вивчення методичних вказівок студент повинен:

знати:

- основи і способи розробки прогностичних методик, їх етапи;
- поняття оптимального рішення, методика вибору оптимальної стратегії використання метеорологічної інформації;
- принцип складання матриці витрат та спряженості, критерії успішності прогнозів, порядок їх розрахунку;

вміти:

- апроксимувати прогностичні залежності різними видами функцій, визначати найбільш ефективний спосіб апроксимації;
- розділяти образи (класи) явищ та фаз погоди з використанням методів дискримінантного аналізу;
- визначати ефективність прогнозування метеовеличин та явищ погоди з використанням критеріїв справджуваності.

Дані методичні вказівки містять в собі рекомендації з виконання трьох практичних занять з теми «Оптимальна стратегія використання прогностичної інформації» дисципліни «Авіаційні прогнози погоди». Вивчення цієї теми передбачає засвоєння теоретичного матеріалу та усної відповіді на питання для самоперевірки.

Наведені нижче завдання виконуються студентами під час аудиторних занять. Максимальна кількість балів, яку може одержати студент при виконанні трьох практичних робіт складає 12 балів (по 4 бали за кожену роботу).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

### Застосування регресійного аналізу для апроксимації прогностичних залежностей

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Регресійний аналіз застосовується у математичній статистиці для виявлення взаємозв'язку між двома або більше змінними. Цей метод в задачі побудови прогностичного способу використовується для розробки алгоритмів прогнозу таких кількісних характеристик стану атмосфери, як температура і вологість повітря, кількість хмарності (у балах), швидкість вітру, висота нижньої межі хмар тощо.

Якщо предиктант  $y$  і предиктори  $x_1, x_2, \dots, x_n$  мають нормальні закони розподілу, то зв'язок між  $y$  і  $\bar{X}$  представляється у вигляді рівняння лінійної регресії.

#### *Звичайна лінійна регресія*

У випадках, коли, використовуючи регресійний аналіз, необхідно розробити прогноз кількісної метеорологічної величини  $y$  (предиктант) за умов, що встановлений зв'язок цієї величини з одним з параметрів атмосфери, тобто архівна вибірка складається з однієї змінної  $x$  (предиктора).

В цьому випадку задача зводиться до визначення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  в рівнянні

$$\hat{y} = ax + b. \quad (1.1)$$

При цьому прогностичне значення  $\hat{y}$  має найкращим чином визначати цю змінну  $y$ . Для визначення цих коефіцієнтів можна використовувати метод найменших квадратів. Відповідно до цього методу необхідно, щоб сума квадратів непогодженості

$$\Delta y_i = y_{\phi i} - \hat{y}_i = y_{\phi i} - (ax_i + b) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1.2)$$

мала найменше значення, тобто щоб

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta y_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_{\phi i} - ax_i - b)^2 = \min \quad (1.3)$$

де  $y_{\phi}$  – фактичне значення предиктанта;  $N$  – об'єм вибірки.

Умовою мінімуму виразу (1.3) є обернення до нуля частинних похідних від цього виразу за змінними  $a$  і  $b$ .

Узявши похідні  $\frac{\partial}{\partial a}$  і  $\frac{\partial}{\partial b}$  від виразу (1.3) і прирівнявши його до нуля, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial b} &= 2 \left[ \sum_{i=1}^N (y_{\phi i} - ax_i - b) \right] (-1) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial a} &= 2 \left[ \sum_{i=1}^N (y_{\phi i} - ax_i - b) \right] (-x) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

Проводячи прості перетворення (1.4), отримуємо систему двох рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a \sum_{i=1}^N x_i + \sum_{i=1}^N b &= \sum_{i=1}^N y_{\phi i} \\ a \sum_{i=1}^N x_i^2 + b \sum_{i=1}^N x_i &= \sum_{i=1}^N x_i y_{\phi i} \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Вирішуючи ці рівняння відносно невідомих  $a$  і  $b$ , знаходимо:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\overline{xy_{\phi}} - \bar{x}\bar{y}_{\phi}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2} = \frac{m_{xy}}{\sigma_x^2} \\ b &= \bar{y}_{\phi} - a\bar{x} = \bar{y}_{\phi} - \frac{m_{xy}}{\sigma_x^2} \bar{x} \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

де

$$\overline{xy_{\phi}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_{\phi i}; \quad \bar{x}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2; \quad \bar{y}_{\phi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{\phi i}; \quad m_{xy} = \overline{xy_{\phi}} - \bar{x}\bar{y}_{\phi} -$$

коваріаційний момент другого порядку;  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення змінної  $x$ .

Підставивши вираз (1.6) до рівняння (1.1), отримуємо остаточне рівняння

$$\hat{y} = \bar{y}_{\phi} + \frac{m_{xy}}{\sigma_x^2} (x - \bar{x}) = \bar{y}_{\phi} + \frac{r_{xy} \sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}), \quad (1.7)$$

де  $r_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_{\phi i} - \bar{y}_{\phi})$  – коефіцієнт кореляції між змінними  $x$  та  $y_{\phi}$ .

### Множинна лінійна регресія

У випадках, коли, необхідно розробити спосіб прогнозу предиктанту  $y$  за умов, що після відбору є  $n$  предикторів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

В цих випадках задача зводиться до визначення виразу

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n. \quad (1.8)$$

При цьому необхідно підібрати коефіцієнти  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ , таким чином, щоб непогодженість  $\Delta y = y_{\phi} - \hat{y}$  мала найменшу дисперсію (що є еквівалентним до методу найменших квадратів), тобто щоб

$$S = \sum_{i=1}^N [y_{\phi i} - (a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n)_i]^2 = \min. \quad (1.9)$$

Як і раніше, коефіцієнти  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  необхідно визначати з рівнянь, які утворюються, якщо прирівняти до нуля частинні похідні  $\frac{\partial}{\partial a_0}, \frac{\partial}{\partial a_1}, \frac{\partial}{\partial a_2}, \dots, \frac{\partial}{\partial a_n}$  від виразу (1.9). В результаті цього буде отримана система рівнянь з  $n$  невідомими  $a_1, a_2, \dots, a_n$ :

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^N y_{\phi i} \cdot 1 &= \sum_{i=1}^N a_0 + \sum_{i=1}^N a_1 x_1 + \sum_{i=1}^N a_2 x_2 + \dots + \sum_{i=1}^N a_n x_n; \\ \sum_{i=1}^N y_{\phi i} x_1 \cdot 1 &= \sum_{i=1}^N a_0 x_1 + \sum_{i=1}^N a_1 x_1^2 + \sum_{i=1}^N a_2 x_1 x_2 + \dots + \sum_{i=1}^N a_n x_1 x_n; \\ \sum_{i=1}^N y_{\phi i} x_2 \cdot 1 &= \sum_{i=1}^N a_0 x_2 + \sum_{i=1}^N a_1 x_1 x_2 + \sum_{i=1}^N a_2 x_2^2 + \dots + \sum_{i=1}^N a_n x_2 x_n; \\ &\dots \\ \sum_{i=1}^N y_{\phi i} x_n \cdot 1 &= \sum_{i=1}^N a_0 x_n + \sum_{i=1}^N a_1 x_1 x_n + \sum_{i=1}^N a_2 x_2 x_n + \dots + \sum_{i=1}^N a_n x_n^2. \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

Система рівнянь (10) називається нормальною системою алгебраїчних рівнянь. Її можна вирішити способом послідовного виключення невідомих.

Ступень зв'язку  $y$  з  $x_1, x_2, \dots, x_n$  або ступень наближення  $y_\phi$  через  $\hat{y}$ , що визначається виразом (1.8), можна характеризувати за допомогою коефіцієнту кореляції  $R$ , між  $y_\phi$  і  $\hat{y}$ :

$$R^2 = \frac{\hat{\sigma}_y^2}{\sigma_y^2}, \quad (10.11)$$

де  $\hat{\sigma}_y^2 = \sigma_{\hat{y}}^2 = \overline{(\hat{y})^2} - (\bar{\hat{y}})^2$ .

Позначивши  $\sigma_\eta^2 = \sigma_y^2 - \hat{\sigma}_y^2$ , можна записати

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_\eta^2}{\sigma_y^2}. \quad (10.12)$$

Коефіцієнт  $R$  зазвичай називають *коефіцієнтом множинної кореляції*.

Регресійний аналіз можна також застосувати і під час розробки імовірнісного способу прогнозу метеорологічної величини або явища погоди. Відрізнятиметься поставлена задача від задачі отримання множинної лінійної регресії тим, що в якості прогнозованої величини (предиктанта) використовуватиметься імовірність здійснення даного явища погоди (градації метеорологічної величини)  $\hat{p}$ . Прогностичне рівняння в цьому випадку матиме наступний вигляд

$$\hat{p} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n. \quad (10.13)$$

Оскільки в атмосфері прогностичні залежності доволі часто не апроксимуються лінійними законами, в практиці побудови алгоритмів прогнозу з використанням регресійного аналізу застосовуються також нелінійні рівняння регресії. Одним з розповсюджених видів нелінійної регресії є показова функція наступного вигляду

$$\hat{y} = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n}. \quad (10.13)$$

Рівняння такого вигляду легко лінеарувати шляхом логарифмування

$$\ln \hat{y} = \ln a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + \dots + a_n \ln x_n. \quad (10.14)$$



Нелінійна регресія може бути також виражена у вигляді поліному  $k$ -го ступеню. В цьому випадку прогностичне рівняння матиме вигляд

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_2 + \dots + a_mx_n^k. \quad (10.41)$$

Це рівняння на практиці частіше використовується у більш узагальненому вигляді

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2. \quad (10.15)$$

Контрольні питання:

1. Для чого застосовується регресійний аналіз?
2. У яких випадках застосовується звичайна лінійна регресія?
3. У яких випадках застосовується множинна лінійна регресія?
4. Зі скількох рівнянь складатиметься нормальна система алгебраїчних рівнянь, якщо необхідно визначити зв'язок між предиктантом і трьома предикторами?
5. Чим визначається ступень зв'язку або ступень наближення між прогностичним і фактичним значеннями предиктанту?

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* отримання рівняння множинної лінійної регресії для прогнозу максимальної температури повітря біля поверхні землі за сезонами року з використанням методу найменших квадратів.

Завдання 1. Побудова рівняння множинної лінійної регресії методом найменших квадратів.

*Вихідні матеріали.*

Архівна вибірка метеорологічних спостережень та даних радіозондування атмосфери за сезонами року (весна, літо, осінь), яка містить значення предикторів (додаток А):

– за даними спостережень за 03 години: відносна вологість, температура повітря біля поверхні землі, а також температура повітря та дефіцит точки роси на рівні 850гПа;

– за даними спостережень у момент досягнення максимальної температури повітря за попередню добу: швидкість вітру біля поверхні землі та кількість хмар нижнього ярусу.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. За даними додатку А отримати рівняння множинної лінійної регресії для прогнозу максимальної температури повітря на день біля поверхні землі (згідно варіанту).

2. Попередньо вихідну вибірку необхідно поділити на контрольну і навчальну. До контрольної вибірки повинна увійти кожна третя реалізація представленого ряду спостережень. До навчальної вибірки – всі інші значення спостережень. Таким чином, повинні бути складені дві непересічні вибірки з співвідношенням 2:1. Використовуючи матеріал навчальної вибірки, побудувати рівняння регресії, на матеріалі контрольної вибірки, зазвичай оцінюють успішність прогностичного рівняння (оцінка успішності не входить до цього завдання).

3. Прогностичний зв'язок необхідно знайти за допомогою рівняння (1.8) між предиктантом  $Y (T_{\max})$  і заданими предикторами  $X_j$  (згідно з варіантом).

4. Для двох предикторів необхідно розрахувати систему рівнянь наступного вигляду:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N y_i = \sum_{i=1}^N a_0 + a_1 \sum_{i=1}^N (x_1)_i + a_2 \sum_{i=1}^N (x_2)_i \\ \sum_{i=1}^N (yx_1)_i = a_0 \sum_{i=1}^N (x_1)_i + a_1 \sum_{i=1}^N (x_1)_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i \\ \sum_{i=1}^N (yx_2)_i = a_0 \sum_{i=1}^N (x_2)_i + a_1 \sum_{i=1}^N (x_1 x_2)_i + a_2 \sum_{i=1}^N (x_2)_i^2 \end{cases}$$

Цю систему можна, наприклад, розв'язати за способом Гауса.

а) спільно розв'язуючи перше та друге рівняння, виключається коефіцієнт  $a_0$ .

б) спільно розв'язуючи перше та третє рівняння, виключається коефіцієнт  $a_0$

в) спільно розв'язуючи отримані рівняння, виключається коефіцієнт  $a_1$ , відповідно визначаємо значення коефіцієнту  $a_2$ , далі, методом зворотної постановки, знаходимо коефіцієнти  $a_0$  і  $a_1$ .

5. Номер варіанту відповідає номеру студента у списку групи. Нижче у таблиці 1.1 представлені пари предикторів для кожного з варіантів.

Таблиця 1.1 – Пари предикторів для кожного з варіантів

ВЕСНА		ЛІТО		ОСІНЬ	
№	$X_1, X_2$	№	$X_1, X_2$	№	$X_1, X_2$
1.	$f, ff$	5.	$ff, T_{d850}$	9.	$N, T_{850}$
2.	$f, T_0$	6.	$T_0, T_{850}$	10.	$f, T_0$
3.	$f, T_{850}$	7.	$T_0, D_{850}$	11.	$f, N$
4.	$f, D_{850}$	8.	$T_0, N$	12.	$ff, D_{850}$

6. Вхідні дані рекомендується оформити у виді представленої нижче таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Таблиця оформлення вхідних даних (варіант).

№	$T_{max}$	$X_1$	$X_2$	$T_{max} X_1$	$X_1^2$	$T_{max} X_2$	$X_2^2$	$X_1 X_2$
1								
2								
·								
·								
·								
60								
$\Sigma$								

*Звітні матеріали*

1. Вхідна вибірка з розрахованими сумами.
2. Система лінійних алгебраїчних рівнянь.
3. Алгоритм рішення системи алгебраїчних рівнянь будь яким відомим способом (або програма розрахунку).
4. Кінцеве прогностичне рівняння з коротким аналізом прогностичних зв'язків.
5. Висновки по роботі.

Завдання 2. Апроксимація функції методом найменших квадратів з використанням програми EXCEL.

*Вихідні матеріали.*

- набір пар предикторів  $(x_i; y_i)$  будь-якої природи (експериментальних вимірювань, спостережень);
- комп'ютерна програма *Excel*.

*Мета завдання.*

З використанням методу найменших квадратів знайти апроксимуючу функцію у вигляді поліному будь якого ступеня або інших функцій.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Побудувати регресію загального вигляду та знайти коефіцієнти  $k_1, k_2, k_3 \dots$  функції  $F(x)$ , яка має вид:

$$F(x) = k_1 f_1(x) + k_2 f_2(x) + \dots + k_n f_n(x),$$

де  $f_i(x)$  – функції, які задає користувач ;  $k_i$  - константи.

2. Підібрати такі  $f_i(x)$  та знайти такі  $k_i$ , щоб функція  $F(x)$  якомога точніше апроксимувала заданий набір пар  $(x_i; y_i)$ .

3. Мінімізувати суму квадратів модулів відхилень.

4. Побудувавши графік набору пар даних, знайти  $f_{1,2}(x)$  у виді:

$$f_1(x) = \frac{1}{ax + 1}; \quad f_2(x) = \sqrt{x + b}$$

де  $a$  і  $b$  – деякі константи, які необхідно оптимізувати п пошуку рішення.

5. Отримати оптимізовані значення коефіцієнтів і констант, за допомогою яких можна записати апроксимуючу функцію  $F(x)$ .

6. Скласти діаграму користуючись "майстром діаграм".

*Приклад:*

Лист *Excel* необхідно оформити наступним чином (таблиця 1.3):

Таблиця 1.3 – Зразок оформлення алгоритму розрахунків.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1.	$i$	$x$	$y$	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$F(x)$	$ F(x)-y_i $	$( F(x)-y_i )^2$
2.	1	2	7	=1/(\$B\$15*B2+1)	=КОРЕНЬ(B2+\$B\$16)	=\$B\$12*D2+\$B\$13*E2+\$B\$14	=ABS(F2-C2)	=G2^2
3.	2	3	3,2	=1/(\$B\$15*B3+1)	=КОРЕНЬ(B3+\$B\$16)	=\$B\$12*D3+\$B\$13*E3+\$B\$14	=ABS(F3-C3)	=G3^2
4.	3	5	1,3	=1/(\$B\$15*B4+1)	=КОРЕНЬ(B4+\$B\$16)	=\$B\$12*D4+\$B\$13*E4+\$B\$14	=ABS(F4-C4)	=G4^2
5.	4	8	-0,9	=1/(\$B\$15*B5+1)	=КОРЕНЬ(B5+\$B\$16)	=\$B\$12*D5+\$B\$13*E5+\$B\$14	=ABS(F5-C5)	=G5^2
6.	5	11	0,9	=1/(\$B\$15*B6+1)	=КОРЕНЬ(B6+\$B\$16)	=\$B\$12*D6+\$B\$13*E6+\$B\$14	=ABS(F6-C6)	=G6^2
7.	6	14	1,1	=1/(\$B\$15*B7+1)	=КОРЕНЬ(B7+\$B\$16)	=\$B\$12*D7+\$B\$13*E7+\$B\$14	=ABS(F7-C7)	=G7^2
8.	7	17	2,2	=1/(\$B\$15*B8+1)	=КОРЕНЬ(B8+\$B\$16)	=\$B\$12*D8+\$B\$13*E8+\$B\$14	=ABS(F8-C8)	=G8^2
9.	8	19	2,2	=1/(\$B\$15*B9+1)	=КОРЕНЬ(B9+\$B\$16)	=\$B\$12*D9+\$B\$13*E9+\$B\$14	=ABS(F9-C9)	=G9^2
10.	9	23	3	=1/(\$B\$15*B10+1)	=КОРЕНЬ(B10+\$B\$16)	=\$B\$12*D10+\$B\$13*E10+\$B\$14	=ABS(F10-C10)	=G10^2
11.							=СУММ(G2:G10)	=СУММ(H2:H10)
12.	$k_1$	1					=G11/9	
13.	$k_2$	1						
14.	$k_3$	1			=МИН(G2:G10)			
15.	$a$	1			=МАКС(G2:G10)			
16.	$b$	1			=КОРЕНЬ(H11/A10)			

До чарунок B2-B10 необхідно ввести значення заданих координат по вісі абсцис, тобто введемо значення  $x_i$ , а у чарунки C2-C10, необхідно ввести

значення  $y_i$  відповідно. Функція  $f_1$  вводиться у чарунки с координатами D2-D10, а функція  $f_2$  у чарунки E2-E10. При цьому значення констант ( $a$  и  $b$ ) в обох функціях підставляємо з чарунок B15, B16. У чарунках F2-F10 функції  $f_1$  и  $f_2$  додаються з врахуванням коефіцієнтів  $k_1, k_2, k_3$ , як показано вище. Розрахунок відхилення по кожній точці розраховується окремо та задається у чарунки G2-G10. Ця операція проводиться наступним чином: від заданих координат  $y_i$  віднімаємо отримане значення функції  $F(x)$  для однакових координат  $x_i$ . Необхідно пам'ятати, що  $F(x) - y_i$  береться по модулю, тобто.  $|F(x)-y_i|$ . У чарунці G11 знаходимо суму всіх відхилень (не забуваючи про те, що ділити необхідно на кількість пар), а у чарунці G12 - середнє відхилення апроксимуючої функції від заданої точками функції. У чарунках H2-H10 записуємо суму квадратів модулів цих відхилень. Середнє квадратичне відхилення розраховується у чарунці E16 за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (F(x) - y_i)^2}{n}},$$

де  $n$  – кількість заданих пар.

Щоб апроксимувати задану точками ділянку кривої необхідно у чарунки B12-B16 ввести будь які початкові значення для їхньої оптимізації.

Необхідно увійти в меню «Сервис» → «Надстройки» → «Поиск решения», де встановлюємо:

Встановити цільову чарунку	G11		
Рівною	по максимуму	по мінімуму	по значенню
	<b>x</b>		
Змінюючи чарунки	B12:B16		
Обмеження	Обмежень немає		

Подаємо команду «Виконати» і отримуємо у чарунках:

G11 = 2,791010602 - сума відділень;

G12 = 0,310112289 - середнє відхилення

E14 = 6,96092E-09 - мінімальне відхилення;

E15 = 1,435666647 - максимальне відхилення;

E16 = 0,536215626 - середнє квадратичне відхилення;

У чарунках B12-B16 полупилися оптимізовані значення, за допомогою яких можна записати апроксимуючу функцію  $F(x)$ .

Таблиця 1.4 – Оптимізовані коефіцієнти апроксимуючої функції  $f_{1,2}(x)$

$k_1$	429,3160152
$k_2$	5,307103553
$k_3$	-49,19026482
$a$	18,91018934
$b$	70,11865141

$$F(x) = 429,3160152 / (18,91018934 * x + 1) + 5,307103553 * \sqrt{x + 70,11865141} + (-49,19026482)$$

Для наглядного представлення отриманої апроксимації можна скласти діаграму, користуючись «майстром діаграм». Обграємо діаграму, натискаємо кнопку "Далі" і виділяємо ділянку, за значеннями якої будуть будуватися графіки. Рисунок буде виглядати приблизно так:

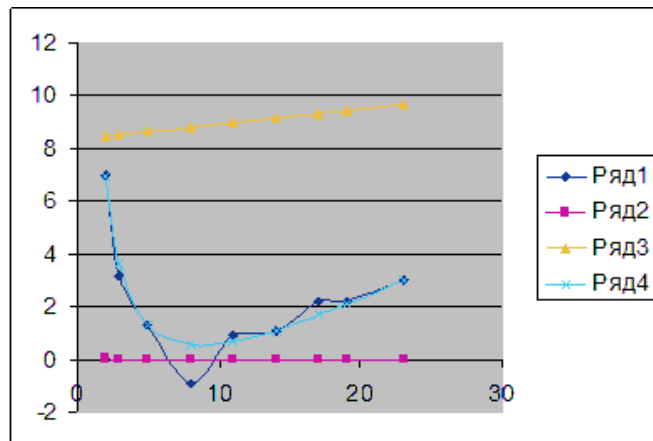


Рис1.1 – Діаграма розподілу функцій: Ряд 1 – вихідні точки, з'єднані лініями; Ряд 2 – графік функції  $f_1$ ; Ряд 3 – графік функції  $f_2$ ; Ряд 4 – графік функції  $F(x)$ .

### *Звітні матеріали*

1. Відпрацьований алгоритм у програмі Microsoft Excel.
2. Діаграма з графіками функцій.

## Застосування дискримінантного аналізу у задачах прогнозу погоди

## ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

В прогностичній практиці інженере-метеоролога доволі часто виникають такі задачі, коли по значенню вектора-предиктора  $\bar{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  необхідно передбачити одну з фаз (градацій) предиктанта  $\bar{Y}(y_1, y_2, \dots, y_m)$ . Наприклад, по значенню температури і вологості біля поверхні землі та у вільній атмосфері розробляється прогноз наявності або відсутності грози, тобто встановлюється лише сам факт виникнення явища, без необхідності прогнозування його чисельного значення.

Для вирішення задач такого типу як правило застосовуються методи дискримінантного або кластерного аналізу.

Під *дискримінантним аналізом* розуміють деяку задачу вироблення правила, яке дозволяє віднести деяку реалізацію вектора-предиктора  $\bar{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  до відомого класу (фази) в тому випадку, коли невідомо, до якого класу вона належить.

Під *кластерним аналізом* розуміють розділення елементів вибірки на класи (групи), що оптимально розрізняються між собою.

*Методика побудови дискримінантної функції*

Задача класифікації в якій необхідно віднести даний багатомірний вектор спостережень (об'єкт) до одного з заданих класів називається дискримінантним аналізом.

В залежності від методів навчання розділяють параметричний та непараметричний дискримінантний аналіз.

Метод еталонів відноситься до непараметричного методу навчання. Особливістю цього методу є те, що для кожного класу обраного вектор предиктора який розглядається, задається деяка єдина характерна точка – еталонний образ, по якій приймається значення предиктора у даному класі.

Якщо позначити кількість класів як  $k$ , то середнє значення предикторів в кожному класі розраховується за формулою:

$$X_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} (x_{jk})}{N_k} \quad (2.1)$$

Належність до відповідного класу визначається за відстанню між точками, які відображають ці образи у просторі.

$$L_k = \sqrt{(x_{1i} - \bar{x}_{1k})^2 + (x_{2i} - \bar{x}_{2k})^2 + \dots + (x_{ni} - \bar{x}_{nk})^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - X_{jk})^2}, \quad (2.2)$$

де  $x_{ij}$  –  $i$ -те значення  $j$ -того предиктора, взятого з контрольної вибірки.

Якщо ця відстань  $L_k$  є меншою для класу  $A$ , у прогнозі вказується наявність явища, у протилежному випадку – його відсутність.

### *Графічний спосіб побудови лінійних дискримінантних функцій*

Розглянемо процедуру побудови дискримінантної функції за методом найменших квадратів.

Нехай маємо навчальну вибірку об'ємом:

$$N = N_1 + N_2, \quad (2.3)$$

де  $N_1$  – кількість випадків з наявністю явища;  $N_2$  – кількістю випадків з відсутністю явища.

По цій вихідній вибірці необхідно побудувати дискримінанту функцію,

$$L = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2, \quad (2.4)$$

яка забезпечує найкращий альтернативний прогноз.

Для врахування кількості випадків як з наявністю, так і відсутністю явища під час виявлення коефіцієнтів функції (2.1) реалізуємо наступний прийом: введемо у якості предиктанта  $\vec{Y}$  величину, яка при наявності явища приймає значення  $y_1 = N_2 / N$ , а при відсутності  $y_2 = N_1 / N$ . Прийняття цих рівнянь також пов'язане з тим, що середнє значення предиктанта при правильному розподілі навчальної вибірки на класи повинно дорівнювати нулю. Так, наприклад, якщо  $(N_2/N)N_1$  – сума реалізацій предиктанта в класі "наявність явища",  $(-N_1/N)N_2$  – сума реалізацій предиктанта в класі "відсутність явища", то

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{N} \left( \frac{N_2 N_1}{N} - \frac{N_1 N_2}{N} \right) = 0, \quad (2.5)$$



тобто значення  $y_1$  та  $y_2$  прийнято правильно.

Враховуючи, що  $L$  і середнє значення кожного предиктора дорівнюють нулю, тобто точка  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$  повинна знаходитись на дискримінантній лінії, запишемо рівняння (2.4) у більш зручному для подальшого аналізу вигляді:

$$L = a_1(x_1 - \bar{x}_1) + a_2(x_2 - \bar{x}_2). \quad (2.6)$$

Порівнюючи рівняння (2.4) і (2.6), знаходимо:

$$a_0 = -(a_1\bar{x}_1 + a_2\bar{x}_2). \quad (2.7)$$

Коефіцієнти  $a_1$  і  $a_2$  знайдемо за методом найменших квадратів, мінімізуючи функцію

$$S = \sum_{i=1}^N [y_{ki} - a_1(x_{1i} - \bar{x}_1) - a_2(x_{2i} - \bar{x}_2)]^2 = \min. \quad (2.8)$$

Опустивши взяття похідних по  $a_1$  і  $a_2$ , а також перетворення системи нормальних рівнянь отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} a_1 Dx_1 + a_2 Kx_1x_2 &= \frac{N_1N_2}{N^2}(\bar{x}_{11} - \bar{x}_{12}); \\ a_1 Kx_1x_2 + a_2 Dx_2 &= \frac{N_1N_2}{N^2}(\bar{x}_{21} - \bar{x}_{22}), \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

$$\text{де } \bar{x}_{11} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_1} (x_{11}); \quad \bar{x}_{12} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_2} (x_{12});$$

$$Dx_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{1i} - \bar{x}_1)^2, \quad Dx_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 - \text{дисперсії відповідно}$$

$$\text{першого і другого предикторів; } Kx_1x_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2) -$$

кореляційний момент предикторів  $x_1$  та  $x_2$ ;

$\bar{x}_{11}, \bar{x}_{12}$  – середнє значення першого предиктора в першому і другому класі;

$\bar{x}_{21}, \bar{x}_{22}$  – середнє значення другого предиктора в першому і другому класі;

Вирішивши систему (2.6) відносно невідомих, знайдемо коефіцієнти дискримінантної функції  $a_1$  і  $a_2$ .

## Контрольні питання:

1. Що називається дискримінантний аналізом?
2. Для чого застосовується дискримінантний аналіз?
3. До якого методу навчання відноситься метод еталонів і чим він характеризується?
4. Яким чином визначається належність до відповідного класу деякої обраної точки в методі еталонів?
5. Як за допомогою методу найменших квадратів побудувати лінійну дискримінантну функцію?

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* практичне відпрацювання методики розробки способів прогнозу погоди, оволодіння технікою експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів.

*Завдання 1.* Розробка альтернативного способу прогнозу грози з використанням методу еталонів.

*Вихідні матеріали.*

Архівна вибірка, яка містить значення предикторів для прогнозу грози по району базування (додаток Б):

$T_{max}$  – очікувана максимальна температура повітря біля поверхні землі в пункті прогнозу;

$T_{850}$  і  $T_{d850}$ ,  $T_{700}$  і  $T_{d700}$ ,  $T_{500}$  і  $T_{d500}$  – температура і точка роси на поверхнях 850, 700 і 500 гПа за даними ранкового зондування на початку 12-годинної траєкторії очікуваного переміщення повітряних часток до пункту прогнозу.

Знаками (+) і (-) позначені випадки з наявністю або відсутністю грози на період прогнозу.

*Мета завдання:* розробити альтернативний метод прогнозу гроз для району базування, використовуючи метод еталонів.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Представлену у додатку 1 вибірку  $N$  з 54 випадків необхідно поділити на дві непересічні частини: навчальну і контрольну з співвідношенням кількості випадків в них 2:1.

На матеріалі навчальної вибірки необхідно визначити еталони (класифікатори) для вихідних станів атмосфери, які відповідають виникненню грози (клас  $R$ ) та їх відсутності (клас  $\bar{R}$ ).

Оцінка успішності прогнозів на цьому занятті не проводиться.

2. Для зручності обчислень навчальну вибірку слід оформити в зошиті у вигляді таблиці 2.1 роздільно для класу з грозою і без грози та визначити середнє значення предикторів в кожному класі.

3. Виписати з робочої таблиці вектори еталони для кожного класу:

$$R (T_{\max}, T_{850}, T_{d850}, T_{700}, T_{d700}, T_{500}, T_{d500});$$

$$\bar{R} (T_{\max}, T_{850}, T_{d850}, T_{700}, T_{d700}, T_{500}, T_{d500}).$$

4. Вхідні дані рекомендовано оформити у вигляді представленої нижче таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця оформлення вхідних даних (варіант)

№	$T_{\max}$	$T_{850}$	$T_{d850}$	$T_{700}$	$T_{d700}$	$T_{500}$	$T_{d500}$
1.							
2.							
3.							
⋮							
$i$							
$x_{jR}$							
1.							
2.							
3.							
⋮							
$j$							
$\sum_R$							
$x_{j\bar{R}}$							

5. Використовуючи дані додатку Б та отримані класифікатори, розробити альтернативний прогноз погоди для двох випадків контрольної вибірки.

$$L_R = \sqrt{(x_{1i} - \bar{x}_{1R})^2 + (x_{2i} - \bar{x}_{2R})^2 + \dots + (x_{7i} - \bar{x}_{7R})^2},$$

$$L_{\bar{R}} = \sqrt{(x_{1i} - \bar{x}_{1\bar{R}})^2 + (x_{2i} - \bar{x}_{2\bar{R}})^2 + \dots + (x_{7i} - \bar{x}_{7\bar{R}})^2}.$$

*Звітні матеріали.*

1. Вихідна вибірка з розрахованими сумами та середніми значеннями предикторів в кожному класі (заповнюється робоча таблиця).

2. Вектори-еталони для класів «з грозою» і «без грози».
3. Альтернативний прогноз грози з алгоритмом обчислень.

*Завдання 2.* Побудова лінійної дискримінантної функції для прогнозу грози

Для побудови лінійних дискримінантних функцій з використанням МНК в цьому завданні необхідно використати частину архівної вибірки (додаток 2) із загальним об'ємом  $N - 20$  випадків (номера 16 – 35) ця частина архівної вибірки (для спрощення розрахунків) включає по 10 випадків з наявністю та відсутністю явища.

*Мета завдання:* отримати лінійні дискримінантні функції альтернативного прогнозу по району базування з використанням алгоритму МНК.

*Рекомендації по виконанню завдання:*

1. Завдання виконується відповідно до варіанту (таблиця 2.2). Розподіл навчальної групи по варіантах здійснюється у відповідності з номером студента у списку групи.
2. Запропоновану навчальну вибірку рекомендовано оформити у вигляді таблиці.
3. На основі вхідних даних записати систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яку розрахувати відносно невідомих  $a_1$  і  $a_2$ .
4. Використовуючи відповідну формулу визначити коефіцієнти  $a$  і записати отриману дискримінантну функцію.
5. Побудувати графік отриманої дискримінантної функції та провести її аналіз.
6. За графіком дискримінантної функції розробити прогноз грози.
7. Сформулювати висновки по роботі.

Таблиця 2.2 – Варіанти вхідних даних

№ вар.	Предиктори	№ вар.	Предиктори	№ вар.	Предиктори
1.	$T_{\max}, T_{850}$	5.	$T_{850}, T_{d500}$	9.	$T_{d700}, T_{d500}$
2.	$T_{\max}, T_{d850}$	6.	$T_{d850}, T_{d700}$	10.	$T_{850}, T_{500}$
3.	$T_{\max}, T_{700}$	7.	$T_{d850}, T_{500}$	11.	$T_{850}, T_{d700}$
4.	$T_{\max}, T_{d700}$	8.	$T_{700}, T_{d500}$	12.	$T_{850}, T_{d850}$

*Звітні матеріали.*

1. Вихідна вибірка з розрахованими сумами, середніх значень предикторів, дисперсій та кореляційним моментом.

2. Система лінійних алгебраїчних рівнянь з алгоритмом її рішення відносно невідомих коефіцієнтів  $a_1$  і  $a_2$ .
3. Розрахунок  $a_0$ .
4. Отримана лінійна дискримінантна функція.
5. Графік лінійної дискримінантної функції в системі координат  $OX_1 OX_2$  з вказаними координатами точок перетину з осями  $OX_1$  та  $OX_2$
6. Скорочений аналіз лінійної дискримінантної функції (письмово).
7. Альтернативний прогноз грози (розрахунки та висновок).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

### Оцінка успішності категоричних прогнозів

#### ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Визначення параметрів прогностичних зв'язків закінчується розробкою прогностичного методу. Після чого виникає необхідність оцінки ефективності отриманого способу і меж його застосовності (фізико-географічний район, період року, час доби, тощо).

Найбільш розповсюдженим способом оцінки ефективності розробленої методики є випробування її на незалежному матеріалі або безпосередньо в оперативній практиці. По даним випробувань складаються методичні рекомендації по використанню на практиці даного способу.

Однак випробування способу на незалежному і в особливості поточному матеріалі займає доволі тривалий час. Тому ще до проведення такого випробування бажано мати уявлення про імовірні значення похибок прогнозу. Ця задача вирішується методами математичної статистики.

Методика розрахунку чисельних характеристик розподілу, так званих критеріїв успішності, залежить від виду прогнозів: кількісних, альтернативних, якісних.

#### *Критерії оцінки кількісних прогнозів*

В якості критеріїв оцінки успішності кількісних прогнозів використовуються:

1. Коефіцієнт кореляції між прогнозованим значенням елементу і значенням, що здійснилося

$$r_{E_{np}E_{\phi}} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{np} - \bar{E}_{np})(E_{\phi} - \bar{E}_{\phi})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{np} - \bar{E}_{np})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{\phi} - \bar{E}_{\phi})^2}}, \quad (3.1)$$

де  $E_{np}$  і  $E_{\phi}$  – прогнозоване і здійснене (фактичне) значення елементу  $E$  відповідно;  $\bar{E}_{np}$  і  $\bar{E}_{\phi}$  – відповідні середні значення.

2. Імовірність того, що помилка прогнозів по абсолютній величині не перевищуватиме деякого «допустимого» значення. Імовірність розраховується простіше, але є не менш показовою, ніж коефіцієнт кореляції,

оскільки результат порівняння способів, що аналізуються має залежність від вибору допустимого значення.

3. Середня абсолютна  $\eta$  або середня квадратична  $\sigma$  помилка прогнозів, які розраховуються за формулами:

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_{np} - E_{\phi}|; \quad (3.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{np} - E_{\phi})^2}. \quad (3.3)$$

Для похибок, розподілення яких підпорядковується нормальному закону,  $\eta = 0,8\sigma$ .

4. Середня відносна похибка прогнозів, яка розраховується по одній з наступних формул:

$$\frac{\eta}{\eta_1} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_{np} - E_{\phi}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_{\phi} - \bar{E}_{\phi}|}; \quad \frac{\sigma}{\sigma_1} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{np} - E_{\phi})^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{\phi} - \bar{E}_{\phi})^2} \quad (3.4)$$

або

$$\frac{\eta}{\eta_2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_{np} - E_{\phi}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E'_{\phi} - \bar{E}_{\phi}|}; \quad \frac{\sigma}{\sigma_2} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{np} - E_{\phi})^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E'_{\phi} - \bar{E}_{\phi})^2}, \quad (3.5)$$

де  $\eta_1$  ( $\sigma_1$ ) – середня абсолютна (квадратична) помилка кліматологічного прогнозу;  $\eta_2$  ( $\sigma_2$ ) – середня абсолютна (квадратична) помилка інерційного прогнозу, при якому прогнозується значення  $E'_{\phi}$ , що спостерігалось на момент складання прогнозу.

Відносні похибки менші за  $\eta$  і  $\sigma$ , залежать від складу вибірки. Тому при порівнянні справджуваності прогнозів за матеріалами різних вибірок, використання приведених критеріїв є більш доцільним ніж  $\eta$  і  $\sigma$ .

Для короткострокових прогнозів зазвичай  $\eta_2 < \eta_1$  і  $\sigma_2 < \sigma_1$ . Для довгострокових прогнозів частіше мають місце протилежні нерівності.

*Критерії оцінки альтернативних прогнозів*

Для альтернативних прогнозів таблиця спряженості приймає такий вид:

Таблиця 3.1 – Таблиця спряженості для альтернативних прогнозів

Здійснилось	Прогнозувалось		$\Sigma$
	$E_1$	$E_2$	
$E_1$	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{10}$
$E_2$	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{20}$
$\Sigma$	$n_{01}$	$n_{02}$	$N$

В якості критеріїв успішності альтернативних прогнозів використовуються:

1. Повторюваність прогнозів, що справдилися (справджуваність прогнозів):

$$u = \frac{n_{11} + n_{22}}{N}. \quad (3.6)$$

Ця величина для методично правильних прогнозів є завжди більшою за 0,5.

В якості оцінок справджуваності прогнозів на наявність та відсутність явища у залежності від мети оцінки можуть додатково використовуватись наступні критерії успішності:

а) Повторюваність прогнозів, що справдилися на наявність  $u_H$  та відсутність  $u_B$  явища по відношенню до загальної кількості випадків:

$$u_H = \frac{n_{11}}{N}; \quad u_B = \frac{n_{22}}{N}. \quad (3.7)$$

б) Повторюваність прогнозів, що справдилися на наявність та відсутність явища по відношенню до загальної кількості випадків наявності і відсутності явища, що фактично спостерігалися:

$$u'_H = \frac{n_{11}}{n_{10}}; \quad u'_B = \frac{n_{22}}{n_{20}}. \quad (3.8)$$

Перше відношення у формулі (3.8) в оперативній практиці називається *попередженістю*.

в) Повторюваність прогнозів, що справдилися на наявність та відсутність явища по відношенню до загальної кількості прогнозів з даним формулюванням:

$$u''_H = \frac{n_{11}}{n_{01}}; \quad u''_B = \frac{n_{22}}{n_{02}}. \quad (3.9)$$



г) Відношення умовної імовірності  $n_{11}/n_{01}$  до безумовної  $n_{10}/N$ :

$$\lambda = \frac{n_{11} \cdot N}{n_{01} \cdot n_{10}}. \quad (3.10)$$

Відношення  $\lambda$  відображає, наскільки краще цей спосіб прогнозує наявність явища по відношенню до кліматичної повторюваності цього явища. Чим більшим є  $\lambda$ , тим більш «чутливим» є спосіб до прогнозу явища погоди.

2. Критерій  $\rho$ , який розраховується за виразом

$$\rho = \frac{(n_{11} + n_{22}) - (n_{12} + n_{21})}{N}. \quad (3.11)$$

3. Критерій надійності Багрова

$$H = \frac{u - u_0}{1 - u_0}, \quad (3.12)$$

де

$$u_0 = \frac{n_{01}n_{10} + n_{02}n_{20}}{N^2}, \quad (3.13)$$

де  $u_0$  – повторюваність випадкових прогнозів, що спралилися за умов, що кількість таких прогнозів з формулюванням  $E_1$  дорівнює  $n_{01}$ , а з формулюванням  $E_2$  –  $n_{02}$ .

Таким чином, критерій Багрова характеризує відношення якості методичних та ідеальних прогнозів і має діапазон від -1 до 1.

4. Критерій точності Обухова

$$Q = \frac{u - u'_0}{1 - u'_0}, \quad (3.14)$$

де

$$u'_0 = \frac{n_{10}^2 + n_{20}^2}{N^2}, \quad (3.15)$$

де  $u'_0$  – повторюваність випадкових прогнозів, що спралилися за умов, що кількість таких прогнозів з формулюванням  $E_1$  дорівнює  $n_{10}$ , а з формулюванням  $E_2$  –  $n_{20}$ .

Таким чином, критерій Обухова визначає відношення різниці якості методичного і випадкового прогнозів до різниці якості ідеального та випадкового прогнозів.

#### Контрольні питання:

1. Від чого залежить методика розрахунку чисельних характеристик розподілу, так званих критеріїв успішності?
2. Якому закону підпорядковується розподілення абсолютної та середньоквадратичної помилки прогнозів?
3. Перелічить критерії оцінки успішності альтернативних прогнозів використовуються?
4. Що характеризує критерій Багрова?
5. Що характеризує критерій Обухова?

### ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*Мета роботи:* оцінка успішності альтернативних прогнозів погоди, оволодіння технікою експериментальних досліджень та аналіз отриманих результатів.

Завдання 1. Оцінка успішності розрахунково-графічних способів прогнозу грози

*Вихідні матеріали.*

Результати паралельних випробувань параметрів конвективної нестійкості при прогнозі грози:  $VT$  (1),  $CT$  (2),  $TT$  (3),  $LI_{CB}$  (4),  $LI_{MU}$  (5),  $LI_{ML}$  (6),  $SI$  (7),  $KI$  (8),  $TI$  (9),  $KO$  (10),  $I$  (11),  $T$  (12),  $JI$  (13),  $MJI$  (14),  $BI$  (15),  $HI$  (16),  $DSI$  (17),  $SI$  (18),  $S$  (19),  $TQ$  (20) (додаток В).

В таблиці знаком «+» позначені формулювання прогнозів «гроза» та випадки на станції спостерігалась гроза, знаком «-» формулювання прогнозів «без грози» та випадки, коли гроза не спостерігалась.

Завдання виконується за варіантами. Номер варіанту визначається порядковим номером студента відповідно до порядкового номеру у списку групи.

Рекомендації по виконанню завдання:

1. За даними додатку В скласти таблицю спряженості для заданого способу прогнозу грози.

Здійснилось	Прогнозувалось		$\Sigma$
	$R$	$\bar{R}$	
$R$	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{10}$
$\bar{R}$	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{20}$
$\Sigma$	$n_{01}$	$n_{02}$	$N$

2. Виконати розрахунок критеріїв успішності альтернативних прогнозів (згідно варіанту):

– загальна повторюваність прогнозів за формулою (3.6), якщо  $u \geq 0,5$  – прогноз вважається методично правильним;

– повторюваність прогнозів, які справдились по відношенню до загальної кількості випадків за формулами (3.7)

– критерій Багрова за формулами (3.12, 3.13)

– критерій Обухова за формулами (3.13 – 3.15)

3. Скласти зведену таблицю 3.1 критеріїв успішності для заданих способів (порівнюються дані розрахунків двох сусідніх варіантів зі своїми критеріями).

4. За критеріями успішності альтернативних прогнозів оцінити ефективність розглянутих способів та визначити найкращий з них.

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця критеріїв успішності

Критерій успішності Варіанти	$U$	$U'$	$U''$	$H$	$Q$	Висновок
1.						
2.						
3.						

5. У якості додаткового завдання виконати аналогічні розрахунки на основі даних отриманих по результатах роботи попереднього практичного заняття.

*Звітні матеріали.*

1. Таблиця спряженості.

2. Алгоритм розрахунку критеріїв успішності та заповнена зведена таблиця.

3. Висновки по роботі.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, ч.1. Л.: Гидрометиздат, 1986. – С. 605-642.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 398-437.
3. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил СССР. М.: Воениздат, 1981. 376 с.
4. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 595-609.
5. Л. А Хандожко Оценка экономического эффекта прогнозов погоды. Л.: ЛПИ (ЛГМИ). 1987. 51 с
6. Практикум по синоптической метеорологии. Под ред. Проф. Ворбьева В. И. - Л.: Гидрометиздат, 1983, с. 131-134.
7. А. С. Кудашкин, К. И. Кудрявая Теория вероятностей и математическая статистика в метеорологии. М. Воениздат, 1985. 324 с.

## Додаток А

### Значення предикторів і предиктанту для прогнозу максимальної температури повітря в районі базування ВЕСНА

№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$	№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$
1.	-4	93	3	-11	-7	2	9	47.	5	89	6	3	-6	3	8
2.	-4	90	2	-10	-6	6	5	48.	4	93	4	1	-2	0	10
3.	-1	95	2	-13	-6	4	5	49.	5	98	8	5	1	1	9
4.	0	94	6	-8	-7	3	10	50.	8	90	4	2	-3	1	9
5.	2	95	4	0	-2	2	10	51.	8	77	4	4	-4	2	8
6.	1	86	4	-2	-7	3	6	52.	8	90	8	4	-2	1	9
7.	-3	90	1	-4	-11	3	9	53.	10	85	8	2	-2	3	8
8.	1	85	8	-4	-10	3	8	54.	11	87	6	4	-2	3	7
9.	1	95	2	-3	-4	1	10	55.	12	89	6	3	1	3	7
10.	1	97	7	-1	-6	0	10	56.	9	88	7	3	-1	10	2
11.	0	94	4	-2	-8	0	10	57.	11	72	7	4	-4	8	4
12.	-2	82	6	-7	-13	3	10	58.	13	75	6	5	-1	7	3
13.	-7	79	4	-12	-12	3	4	59.	15	68	4	6	0	7	4
14.	-4	79	3	-14	-14	11	2	60.	16	79	7	7	2	5	5
15.	-1	86	3	-10	-7	12	6	61.	13	80	7	9	3	2	9
16.	2	90	4	-5	-9	8	9	62.	14	87	2	8	2	3	3
17.	-2	83	5	-6	-7	11	6	63.	20	80	5	11	4	6	4
18.	1	73	4	-3	-4	8	7	64.	13	91	4	7	3	4	7
19.	0	90	5	-5	-8	4	6	65.	14	92	5	6	1	4	6
20.	1	90	5	-5	-6	4	7	66.	16	96	6	8	4	5	5
21.	1	95	5	-3	-3	4	7	67.	19	83	8	11	4	4	6
22.	3	94	6	-4	-5	6	5	68.	18	74	5	12	5	5	4
23.	1	84	5	-3	-6	2	2	69.	20	81	6	10	4	7	4
24.	4	83	3	-3	-8	7	1	70.	23	67	6	13	7	7	3
25.	3	93	5	-2	-9	6	7	71.	24	66	6	15	9	10	2
26.	4	90	5	1	-3	3	10	72.	23	72	5	14	9	7	2
27.	9	92	9	3	-2	1	5	73.	24	65	6	14	11	9	5
28.	5	95	9	4	0	3	5	74.	13	64	7	9	5	11	1
29.	4	74	4	0	-6	6	7	75.	16	65	7	5	-2	6	3
30.	2	84	4	0	-6	2	5	76.	17	67	7	4	2	6	2
31.	2	89	3	-2	-6	3	4	77.	14	68	10	7	3	7	3
32.	5	88	7	-2	-7	5	4	78.	14	62	5	3	4	6	3
33.	7	86	11	1	-7	6	3	79.	17	63	6	6	1	7	2
34.	8	91	3	0	-6	5	2	80.	17	74	6	7	3	5	2
35.	7	82	6	0	-4	11	5	81.	15	74	3	8	3	6	0
36.	6	88	5	1	0	4	4	82.	17	84	3	5	1	7	3
37.	5	87	6	1	-1	6	5	83.	19	54	5	9	3	9	1
38.	4	86	4	2	-4	4	5	84.	18	59	3	10	5	9	4
39.	8	90	9	3	-3	4	3	85.	21	86	2	11	6	12	3
40.	10	81	8	2	-6	4	7	86.	22	81	3	11	6	9	3
41.	7	93	6	4	-1	1	3	87.	23	77	4	11	7	6	4
42.	9	85	7	0	-3	3	3	88.	25	67	3	15	9	5	2
43.	12	91	7	2	0	9	2	89.	26	68	6	14	9	7	2
44.	14	89	7	3	-2	5	4	90.	28	69	2	15	10	9	3
45.	10	77	7	7	-3	11	5	91.	26	68	2	17	13	6	5
46.	5	81	4	4	-1	5	4	92.	21	88	6	13	5	4	3

Значення предикторів і предиктанту для прогнозу  
максимальної температури повітря в районі базування  
ЛІТО

№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$	№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$
1.	23	79	6	11	3	7	3	47.	26	79	5	16	10	9	1
2.	21	63	6	13	5	9	1	48.	25	92	4	17	10	5	4
3.	24	71	5	11	7	5	2	49.	24	77	5	15	11	6	3
4.	22	74	5	13	7	6	1	50.	27	74	6	18	12	3	8
5.	23	61	4	12	10	5	2	51.	31	78	7	18	14	8	2
6.	25	80	7	14	12	3	3	52.	30	73	9	20	17	17	0
7.	25	74	8	16	12	3	2	53.	23	79	4	17	11	6	3
8.	21	80	7	12	6	2	7	54.	24	81	5	13	9	7	7
9.	24	70	5	13	5	7	5	55.	24	79	5	15	9	5	4
10.	22	90	3	11	8	7	4	56.	26	80	5	14	9	7	8
11.	22	80	5	14	10	7	3	57.	27	75	5	15	11	6	8
12.	24	73	6	12	8	9	3	58.	29	69	5	17	13	6	9
13.	27	71	8	14	10	11	3	59.	30	66	8	19	15	1	10
14.	21	66	7	18	12	10	1	60.	28	71	7	19	14	1	10
15.	21	69	7	15	9	6	4	61.	28	69	7	18	14	8	2
16.	19	79	6	14	5	5	5	62.	19	86	5	17	14	8	3
17.	22	75	5	9	7	8	2	63.	20	95	6	17	14	1	3
18.	21	77	5	13	8	10	0	64.	21	95	5	17	10	1	5
19.	24	79	4	11	7	8	1	65.	21	95	6	17	11	2	4
20.	25	74	6	13	10	11	1	66.	23	91	6	17	10	3	5
21.	24	73	5	17	9	4	7	67.	23	90	5	15	10	4	2
22.	26	76	5	18	12	6	4	68.	24	90	5	16	11	4	2
23.	27	72	4	18	14	8	2	69.	22	85	5	13	9	8	3
24.	27	77	5	17	11	10	2	70.	25	85	3	13	10	5	4
25.	23	75	5	19	12	6	4	71.	26	77	6	18	13	2	9
26.	22	80	6	17	12	8	8	72.	26	86	4	17	12	3	7
27.	23	79	4	16	11	5	4	73.	25	87	5	12	14	3	8
28.	26	75	4	17	12	6	6	74.	21	84	3	15	12	6	3
29.	27	78	4	17	13	6	7	75.	22	91	5	11	6	7	2
30.	27	84	2	18	13	2	9	76.	22	88	8	14	4	4	6
31.	26	79	5	17	13	6	5	77.	23	86	4	13	5	5	4
32.	23	92	7	18	13	7	6	78.	24	78	5	15	11	44	5
33.	22	77	3	16	10	5	5	79.	26	81	0	14	10	2	10
34.	23	74	5	16	14	8	6	80.	24	88	5	15	12	7	6
35.	24	78	4	16	10	5	6	81.	25	90	1	15	12	5	7
36.	23	73	5	18	10	4	7	82.	28	85	4	15	14	7	6
37.	22	93	2	17	12	1	3	83.	28	70	5	17	15	10	0
38.	25	94	5	16	11	2	1	84.	28	77	4	17	15	7	4
39.	25	86	7	17	12	5	8	85.	27	87	10	19	16	9	3
40.	23	85	3	19	16	5	5	86.	24	92	3	17	14	7	3
41.	26	76	6	18	18	7	5	87.	25	81	4	18	16	8	2
42.	26	70	5	19	15	7	5	88.	23	77	5	15	12	7	4
43.	26	68	5	18	14	8	5	89.	25	72	5	15	12	8	2
44.	28	67	6	18	14	10	3	90.	24	75	5	17	13	8	3
45.	29	70	3	20	15	9	3	91.	24	78	4	14	11	9	1
46.	23	78	7	20	14	7	6	92.	24	84	7	14	8	10	1

Значення предикторів і предиктанту для прогнозу  
максимальної температури повітря в районі базування

ОСІНЬ

№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$	№	$T_{\max}$	$f$	$ff$	$T_0$	$T_{850}$	$D_{850}$	$N_L$
1.	25	88	6	11	11	12	0	47.	9	99	8	10	5	3	6
2.	27	74	6	13	13	5	4	48.	9	96	4	6	2	3	8
3.	25	77	3	17	12	5	6	49.	2	96	7	1	-4	1	10
4.	17	92	5	16	9	2	10	50.	3	84	6	-1	-9	4	6
5.	20	93	6	9	5	5	6	51.	4	84	6	-2	-6	0	10
6.	19	85	4	13	7	4	6	52.	8	90	6	6	0	8	4
7.	23	88	7	11	8	7	3	53.	9	88	4	2	2	6	6
8.	23	79	5	14	10	3	6	54.	9	83	5	0	-3	3	5
9.	21	94	3	12	8	3	8	55.	11	66	5	6	6	10	0
10.	21	91	0	13	9	6	7	56.	11	72	3	8	9	6	7
11.	18	88	5	9	1	5	8	57.	7	95	3	6	-2	6	8
12.	18	73	6	11	6	5	6	58.	7	97	3	2	3	10	1
13.	16	84	6	20	5	3	7	59.	10	93	2	6	5	1	10
14.	15	92	6	7	3	4	8	60.	6	92	5	4	4	4	6
15.	13	86	5	8	2	3	7	61.	4	94	3	2	-2	7	5
16.	18	78	6	8	2	2	9	62.	6	91	9	5	2	4	6
17.	16	83	8	14	4	3	8	63.	5	83	4	4	-6	3	7
18.	13	83	6	7	1	9	8	64.	5	85	9	3	-4	1	9
19.	14	93	4	5	1	6	6	65.	3	91	10	2	-3	2	8
20.	15	91	5	7	2	4	5	66.	3	96	6	1	-5	3	6
21.	17	89	2	7	4	1	8	67.	0	83	10	-2	-7	1	10
22.	21	90	6	7	8	6	4	68.	0	92	6	-1	-9	3	7
23.	20	88	5	9	12	9	2	69.	0	93	7	-6	-10	5	6
24.	20	81	5	12	11	9	3	70.	4	91	2	-1	-4	6	4
25.	19	79	5	12	4	6	5	71.	4	89	5	-3	-1	3	5
26.	16	87	4	11	6	8	3	72.	8	91	2	2	1	8	9
27.	16	86	4	9	6	10	1	73.	5	91	5	2	1	3	10
28.	14	95	2	8	6	10	2	74.	3	94	3	2	-1	4	6
29.	14	94	5	10	5	4	7	75.	1	100	3	0	-2	3	8
30.	17	93	4	7	3	3	8	76.	-2	94	3	-3	-2	7	2
31.	14	87	6	8	6	8	7	77.	-1	95	5	-2	-1	5	4
32.	13	86	5	6	4	9	2	78.	1	89	5	-1	1	5	5
33.	10	75	4	5	1	2	8	79.	2	93	6	0	0	5	5
34.	13	61	5	7	-1	2	4	80.	2	91	5	1	1	6	4
35.	12	67	4	5	3	9	9	81.	3	92	3	-3	-3	4	7
36.	13	79	4	4	2	8	9	82.	2	98	7	-1	1	5	6
37.	11	91	3	6	6	10	0	83.	2	95	7	2	-4	2	9
38.	12	79	6	5	6	10	1	84.	1	88	7	-3	-6	10	0
39.	14	91	2	8	6	6	7	85.	2	94	3	0	-4	1	10
40.	11	87	3	9	5	1	9	86.	1	89	5	3	2	3	8
41.	13	97	5	7	4	2	8	87.	2	84	6	1	-3	5	6
42.	12	90	4	7	4	2	8	88.	0	91	5	-1	-4	8	9
43.	10	90	6	9	5	1	10	89.	-3	98	2	-3	4	8	9
44.	11	95	3	5	5	2	7	90.	-2	88	4	-3	-2	12	0
45.	11	80	5	8	3	4	6	91.	1	93	9	-4	1	6	6
46.	13	98	6	6	4	2	4	92.	-3	95	8	-5	0	5	7

Додаток Б  
Контрольна вибірка зі значеннями предикторів для прогнозу грози

№	$T_{\max}$	$T_{850}$	$T_{d850}$	$T_{700}$	$T_{d700}$	$T_{500}$	$T_{d500}$	Наявність явища
1.	20	6	2	1	-15	-16	-27	-
2.	23	8	3	1	-15	-15	-32	-
3.	26	11	5	1	-4	-13	-23	-
4.	31	15	7	4	-2	-12	-29	+
5.	31	10	9	4	-1	-13	-25	+
6.	25	11	11	2	-7	-14	-37	+
7.	22	13	11	1	-4	-18	-32	-
8.	20	9	7	-2	-7	-18	-19	+
9.	24	10	4	3	-1	-16	-17	+
10.	27	12	8	1	-7	-14	-15	-
11.	24	10	10	1	-2	-14	-24	-
12.	24	8	-2	4	-16	-12	-36	-
13.	28	9	3	2	-5	-11	-17	-
14.	29	14	7	3	-9	-12	-27	-
15.	29	13	0	4	-25	-13	-29	-
16.	27	15	0	3	-4	-12	-20	-
17.	28	13	7	0	-2	-16	-32	+
18.	29	7	2	0	-14	-15	-37	-
19.	25	4	2	1	-15	-15	-27	-
20.	27	12	10	2	2	-13	-22	+
21.	27	13	10	3	1	-13	-14	+
22.	27	13	7	2	0	-12	-21	+
23.	28	13	11	2	0	-12	-24	+
24.	23	12	11	3	2	-10	-10	+
25.	30	15	8	4	-2	-10	-20	-
26.	35	20	2	5	-2	-11	-23	-
27.	32	18	2	5	-3	-14	-25	+
28.	30	14	8	3	-4	-10	-25	-
29.	28	17	11		0	-11	-19	+
30.	29	16	12	4	2	-12	-33	+
31.	32	17	6	4	-2	-12	-16	-
32.	32	16	12	5	3	-11	-22	+
33.	32	16	9	3	-11	-11	-26	-
34.	32	17	11	5	3	-11	-28	-
35.	30	13	10	5	-4	-11	-27	-
36.	27	13	9	6	-10	-13	-30	-
37.	25	10	7	5	-19	-12	-32	-
38.	29	13	4	2	9	-12	-29	-
39.	28	12	9	3	-4	-14	-22	-
40.	30	16	10	2	-2	-13	-24	-
41.	25	9	1	3	-30	-13	-35	-
42.	23	9	-1	3	-17	-14	-28	-
43.	25	11	-5	-4	-15	-12	-28	-
44.	27	10	4	1	-4	-12	-23	-
45.	28	14	10	3	1	-12	-15	-
46.	31	15	4	4	0	-12	-17	-
47.	27	13	12	4	3	-12	-27	+
48.	23	7	4	2	2	-12	-20	-
49.	21	6	-5	1	-14	-13	-23	-
50.	23	7	1	-1	-10	-15	-27	-
51.	26	10	3	1	-5	-15	-26	-
52.	28	12	6	1	-7	-15	-26	-
53.	29	13	6	1	2	-16	-24	-
54.	33	19	3	4	-2	-14	-18	+



## Додаток В

### Результати випробувань прогностичних індексів

№	Формулювання прогнозу										Наявність явища
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
1.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
2.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
3.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
11.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+
16.	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
17.	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
18.	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
19.	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
20.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
21.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
25.	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
26.	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+
27.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
28.	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
29.	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-
30.	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-
31.	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
32.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
33.	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-
34.	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
35.	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-
36.	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-
37.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
38.	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
39.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
40.	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-
41.	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
42.	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
43.	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
44.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47.	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-
48.	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+
49.	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+

50.	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
51.	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-
52.	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+
53.	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
54.	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-
55.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
56.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
58.	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-
59.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61.	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
62.	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-
63.	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
64.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
65.	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
66.	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
67.	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
68.	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
69.	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
70.	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
71.	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
72.	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-
73.	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
74.	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
75.	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
76.	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
77.	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-
78.	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-
79.	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-
80.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
81.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
82.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83.	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
84.	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-
85.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
86.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
89.	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-
90.	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
91.	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
92.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
93.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95.	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
96.	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
97.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
98.	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+
99.	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+
100.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Додаток В  
(продовження таблиці)

№	Формулювання прогнозу										Наявність явища
	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	
1.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
2.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
3.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-
11.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+
16.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
17.	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
18.	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
19.	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
20.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
21.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
24.	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
25.	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
26.	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+
27.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
28.	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
29.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
30.	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-
31.	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-
32.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
33.	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-
34.	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-
35.	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-
36.	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-
37.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
38.	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
39.	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-
40.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
41.	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-
42.	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
43.	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
44.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47.	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-
48.	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+
49.	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+

50.	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+
51.	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-
52.	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+
53.	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+
54.	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-
55.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
56.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
58.	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
59.	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
60.	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
61.	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
62.	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+
63.	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
64.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
65.	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
66.	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
67.	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
68.	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
69.	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-
70.	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
71.	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+
72.	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-
73.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
74.	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+
75.	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
76.	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+
77.	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-
78.	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-
79.	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-
80.	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
81.	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
82.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83.	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-
84.	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-
85.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
86.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
89.	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-
90.	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-
91.	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
92.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
93.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
94.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95.	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
96.	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
97.	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
98.	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+
99.	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
100.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
для практичних занять з навчальної дисципліни  
«Авіаційні прогнози погоди»  
**на тему: «Оптимальна стратегія використання прогностичної  
інформації»**  
для студентів денної форми навчання  
спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
рівень вищої освіти бакалавр

Укладачі: к.ф.-м.н. Мансарлійський В.Ф.

к.геогр.н., доц. Грушевський О.М.

Шанюк О.В.

Електронна версія © Мансарлійський В.Ф.