

**Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара**

**ПРАКТИКУМ ІЗ ДИСЦИПЛІНИ
„ЕКОНОМІКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ”**

2014

**Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара**

Кафедра гідрометеорології і геоєкології

**ПРАКТИКУМ ІЗ ДИСЦИПЛІНИ
„ЕКОНОМІКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ”**

**Дніпропетровськ
РВВ ДНУ
2014**

Стисло викладено зміст кількісних способів оцінки виправданості (успішності) різних метеорологічних прогнозів, які застосовуються в оперативній практиці та наукових дослідженнях з «Економіки гідрометеорологічного забезпечення господарства України». Розглянуті критерії оцінки якості прогнозів залежно від їх змісту, тривалості дії та призначення. Самоперевірка знань студентів може бути здійснена за допомогою орієнтовного переліку контрольних запитань і при розв'язанні типових задач за варіантами.

Для студентів ДНУ ім. Олесь Гончара, які навчаються за напрямом 6.040105 – „Гідрометеорологія”.

Темплан 2014, поз.

Практикум із дисципліни

„Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України”

Укладачі канд. біол. наук, доц. С. М. Сердюк
ст. викладач Л. Д. Богаченко

Редактор
Техредактор
Коректор

Підписано до друку _____ Формат 60 x 84/16.
Папір друкарський. Друк плоский. Ум. друк. арк. 2,0.
Ум. фарбовідб. 1,4. Обл.-вид. арк. Тираж 100 пр. Зам. №

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.
Друкарня ДНУ ім. О. Гончара, вул. Наукова, 5, м. Дніпропетровськ, 49050

1. ОЦІНКА УСПІШНОСТІ КОРОТКОСТРОКОВИХ ПРОГНОЗІВ ПОГОДИ

1.1. Загальні умови оцінки

Короткостроковий прогноз погоди містить комплекс метеорологічних елементів та явищ погоди за період до 48 годин або на будь-які менші проміжки часу. Оцінити успішність прогнозування можливо на основі більшого числа прогнозів, коли кожен із них отримав свою оцінку. Кожний прогноз оцінюється альтернативно – прогноз підтвердився або не підтвердився. При цьому всі елементи та явища погоди також оцінюються окремо і аналогічно отримують свою альтернативну оцінку. Допустимі відхилення прогнозів від фактичних станів погоди отримані на основі багаторічного досвіду роботи служби погоди разом із різними споживачами з урахуванням природної мінливості метеоелементів у різноманітних фізико-географічних умовах. Помилка прогнозу буде визначатися величиною відхилення передбачуваних погодних характеристик від тих, що спостерігаються.

Нехай Π_i – значення метеорологічного елемента або характеристика (стан) явища, що прогнозується, а Φ_j – фактична реалізація погоди (здійснення) за період прогнозування або на визначений термін.

$$\text{Якщо} \quad \Pi_i - \Phi_j = 0, \quad (1.1)$$

то прогноз відповідає фактичній погоді – ідеальна реалізація.

Тому що сучасні прогнози недосконалі, рівняння (1.1) виконується рідко. Це підтверджує той факт, що сучасні прогнози не ідеальні і по своїй природі мають ймовірнісний характер здійснення.

Як правило, прогноз погоди в тій чи іншій мірі не відповідає фактичній погоді, тобто

$$\Pi_i - \Phi_j = \Delta(\Pi_i, \Phi_j), \quad (1.2)$$

де $\Delta(\Pi_i, \Phi_j)$ – помилка прогнозу.

Можливо заздалегідь прийняти

$$\Delta (\Pi_i, \Phi_j) = \Delta (\Pi_i, \Phi_j)_d$$

в якості допустимої помилки, величина якої встановлюється багаторічним досвідом конкретного споживача.

$$\text{Тоді, якщо} \quad \Delta (\Pi_i, \Phi_j) \leq \Delta (\Pi_i, \Phi_j)_d, \quad (1.3)$$

прогноз вважається виправданим та, якщо

$$\Delta (\Pi_i, \Phi_j) \leq \Delta (\Pi_i, \Phi_j)_d, \quad (1.4)$$

– невиправданим .

Усі метеорологічні елементи та явища, що вказуються у прогнозі погоди, оцінюються окремо з урахуванням формул (1.3), (1.4). Прогноз же оцінюється за альтернативною схемою: прогноз здійснився (Π_3), якщо всі метеорологічні елементи та явища погоди прогнозовані в межах допустимої помилки, прогноз не здійснився (Π_n), якщо хоча б один із компонентів прогнозу мав помилку більшу, ніж допустима. Така жорстка оцінка прогнозу виключає можливість її завищення. У ряді випадків необхідно надати оцінку успішності прогнозів окремого явища погоди або встановити успішність прогнозування одного метеоелемента, наприклад, температури. Така оцінка потребує спеціальної обробки матеріалів прогнозування з числа раніше складених прогнозів.

Усі фазові прогнози можна розділити на дві категорії: **альтернативні** та **багатофазові**. Альтернативний (двохфазовий) прогноз має одну із двох взаємовиключних складових: наявність або відсутність даного стану погоди (наприклад, вітер двох градацій, хмарність двох градацій, інші явища погоди з фазами «наявності» чи «відсутності»). Багатофазовий прогноз має більше двох фаз (вітер більше двох градацій, хмарність більше двох градацій,...).

Оцінка успішності прогнозування повинна проводитись за достатньо великою сукупністю прогнозів. Задовільні результати можуть бути отримані при $N \geq 30$ та хороші при $N \geq 100$. Представленість статистичного ряду необхідна для отримання достовірних значень оцінки по всьому діапазону змін даного метеорологічного елемента.

Усі частоти n_{ij} із загальної сукупності прогнозів N мають бути належним чином представлені у так званій матриці спряженості (таблиці виправданості). Це обов'язкова умова оцінки прогнозів. Нижче наведений загальний вигляд такої таблиці (1.1).

Таблиця 1.1 – Матриця спряженості (виправданості) прогнозів

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i				Сума
	Π_1	Π_2	...	Π_m	
Φ_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1m}	n_{10}
Φ_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2m}	n_{20}
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
Φ_n	n_{n1}	n_{n2}	...	n_{nm}	n_{n0}
Сума	n_{01}	n_{02}	...	n_{0m}	N

На основі вище наведеної таблиці проводиться розрахунок усіх критеріїв успішності прогнозування. У табл. 1.1 n_{ij} – числові величини частот відповідної групи зв'язаності Π_i Φ_j , де перша цифра при n вказує номер рядка, друга – номер стовпця, Π_i – прогноз даної градації, Φ_j – фактична погода тієї ж градації.

Для оцінки успішності альтернативних прогнозів можливо скласти більш спрощену таблицю виправданості (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Загальний вигляд таблиці виправданості альтернативних прогнозів погоди

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Явище буде Π	Явища не буде $\dot{\Pi}$	
Явище було, Φ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
Явища не було, $\dot{\Phi}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Сума	n_{01}	n_{02}	N

У таблиці 1.2 позначені числа випадків, відповідні сполученню (Π_i , Φ_j). Зокрема:

n_{11} – число випадків виправданих прогнозів наявності явища – явище прогнозувалось і спостерігалось;

n_{22} – число випадків виправданих прогнозів відсутності явища – явище не прогнозувалось і не спостерігалось;

n_{12} – число випадків невиправданих прогнозів відсутності явища – явище не прогнозувалось, але спостерігалось. Це так звана помилка першого роду – помилка ризику.

n_{21} – число випадків невиправданих прогнозів наявності явища – явище прогнозувалось, але не спостерігалось. Це так звана помилка другого роду – помилка страхування.

n_{01} – число випадків прогнозів наявності явища;

n_{02} – число випадків прогнозів відсутності явища;

n_{10} – число випадків наявності явища;

n_{20} – число випадків відсутності явища;

N – загальне число прогнозів.

Щоб встановити успішність прогнозування даного явища погоди або деякого альтернативного її стану, необхідно розрахувати ряд показників (критеріїв). Важливо при цьому об'єктивно вибрати шкалу значень оцінок, що є принциповою умовою. У цьому відношенні суб'єктивне значення оцінки слід вважати незадовільним.

На даний час широко використовуються такі критерії оцінки виправданості прогнозів як загальна виправданість прогнозів, виправданість випадкових, кліматологічних та інерційних прогнозів, критерій надійності прогнозів за Н. А. Багровим, критерій точності прогнозів за А. М. Обуховим, критерій успішності прогнозів за С. Петерсоном, кількість прогностичної інформації, інформаційне відношення та інші показники. Усі вони є об'єктивними критеріями і широко використовуються в наукових дослідженнях та оперативній практиці. Єдиного критерію, придатного для оцінки успішності будь-яких прогнозів, не існує.

1.2 Призначення оцінки прогнозів погоди

Оцінка успішності прогнозів погоди дозволяє встановити такі важливі положення.

1. Наскільки успішність даного методу відрізняється від успішності випадкових, інерційних або кліматологічних прогнозів. Інколи використовується прийом порівняльної оцінки відносно ідеальних прогнозів. Все це дозволяє виявити кращі методи прогнозування.

2. За яких умов (метеорологічних, синоптичних тощо) даний метод має найкращі результати і за яких – помилки прогнозування найбільші.

3. Напрямок подальших досліджень з метою вдосконалення методів прогнозування.

Можливі й інші напрямки використання оцінок прогнозів, пов'язані зі специфікою і метою дослідження. Деякі з них:

1. Оцінка впливу на помилки прогнозів метеоелементів і явищ погоди, напрямку переміщення та еволюції баричних утворень, того чи іншого синоптичного процесу, форми циркуляції тощо. Така диференційована оцінка успішності прогнозів потребує більшого числа їх випадків.

2. Визначення помилок прогнозів переміщення атмосферних фронтів, баричних утворень та їх еволюції. Результати оцінки таких прогнозів можливо, наприклад, представити у вигляді табл. 1.3. Це може бути додатковою оцінкою приземних і висотних прогностичних карт погоди.

Таблиця 1.3 – Число випадків і відсоток відхилень центрів циклонів на прогностичних картах порівняно з фактичними

Способи прогнозів	Відхилення, км						Всього	
	0-200		201-400		400 і більше		Число випадків	Відсоток
	Число випадків	Відсоток	Число випадків	Відсоток	Число випадків	Відсоток		
Спосіб а								
Спосіб б								
.....
Спосіб к								

3. Якщо прогностична карта охоплює широкую територію, виникає необхідність визначити помилку прогнозів залежно від географічного району. Інколи районування виконується наближено і положення окремих районів та їх

меж носить заданий, умовний характер. Районування може бути виконане з урахуванням регіональних особливостей підстилаючої поверхні, повторюваності баричних утворень та інших факторів.

Оцінка успішності прогнозів в окремих районах за всієї умовності районування досить корисна. У цьому випадку можливо виявити вплив фізико-географічних факторів на атмосферні процеси.

4. За наявності великого числа прогнозів використовують схему–алгоритм диференційованої оцінки успішності прогнозів.

Оскільки оцінка успішності у кінцевому випадку переслідує мету покращення якості прогнозування, диференціація умов буде залежати від вивченості метеоелемента або явища погоди. Наприклад, деякі з умов:

1) оцінка успішності прогнозів температури у різних частинах баричного утворення від особливості його еволюції (стадії), від стану хмарності,...

2) оцінка успішності прогнозів заморозків залежно від адвекції температури, стану ґрунту, еволюції антициклону тощо;

3) оцінка успішності прогнозів гроз залежно від типу атмосферного фронту або повітряних мас, від особливостей розподілу вертикальних рухів та адвекції температури у тропосфері тощо.

Важко перерахувати всі можливі варіанти умов, проте врахування їх вкрай необхідне під час виявлення причин помилок прогнозування і пошуку шляхів удосконалення прогнозів.

1.3. Вимоги, які висувають до оцінки прогнозів погоди

Оцінка прогнозів погоди передбачає два основні етапи. *На першому етапі* проводять збір необхідних матеріалів. Це можуть бути прогнози, що склалися в оперативних умовах. Тут не допускаються пропуски випадків-прогнозів або довільні часткові вибірки на вибір оцінювача. Крім цього, можуть бути використані прогнози, що виконані на основі архівних матеріалів для перевірки метода прогнозування. Ряд для такої оцінки має бути незалежним від ряду даних, на основі якого розроблявся метод прогнозування. У цьому випадку він повинен бути однорідним, мати високу якість, вміщувати дані за всі ситуації, для яких застосовують цей метод.

На другому етапі проводять розрахунок критеріїв оцінки. Вимоги, які при цьому висуваються, зводять до такого переліку:

1. Об'єктивність оцінки, тобто незалежність оцінки від прогнозіста. Ця важлива вимога базується на тому, щоб прогнозіст не мав можливості «підганяти» формулювання текстів під умови сприятливого результату.
2. Чутливість оцінки – повинні розрізнятися близькі, але різні прогнози.
3. Простота оцінки – оцінка повинна бути достатньо простою, щоб її можна було використовувати в оперативній практиці.
4. Вірний вибір неметодичного способу прогнозування, порівняння з яким дає змогу встановити перевагу одних методів прогнозу відносно інших. Існуючі критерії оцінки у більшості випадків відповідають вимогам, що до них висувають.

1.4 Оцінка успішності альтернативних прогнозів

1. Загальна виправданість прогнозів розраховується за формулою:

$$P = \frac{n_{11} + n_{22}}{N}. \quad (1.5)$$

Величина P у формулі (1.5) виражається у процентах або в долях одиниць. Цей показник не є достатньо загальним і надійним критерієм успішності прогнозів. Можна вибрати, наприклад, такий район прогнозування чи таке явище погоди, коли формальні прогнози (припустимо, що кожен день протягом літа прогнозується відсутність грози) отримують більшу загальну здійсненність, ніж методичні. Використання тільки показника P може призводити до суттєвих недооцінок прогнозу різких змін погоди та рідкісних явищ, передбачення яких важливе для господарства.

Приклад 1.

Необхідно оцінити успішність прогнозів гроз за три літні місяці. Фактичні дані здійсненності прогнозу зведені до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Здійсненність прогнозів гроз за червень – серпень

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза Π	Без грози $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	15/0	1/16	16
Грози не було $\dot{\Phi}$	8/0	68/76	76
Сума	23	69	92

Примітка: у знаменнику дроби – число n_{ij} у випадку формального прогнозу.

На основі формули (1.5) за даними таблиці 1.4 отримаємо:

$$P = \frac{15+68}{92} \cdot 100 = 90,2.$$

У випадку формального прогнозу відсутності грози знаходимо, що:

$$P = \frac{0+76}{92} \cdot 100 = 82,6.$$

У цьому прикладі здійсненність формальних прогнозів практично дорівнює успішності кліматологічних прогнозів. Методичні прогнози правильно орієнтували споживача на виникнення грози у 15 випадках і в одному випадку гроза була пропущена. Формальні прогнози у 16 випадках пропустили грозу. Перевага методичного прогнозу тут очевидна.

Приклад 2.

Розглянемо другу таблицю здійсненності прогнозів гроз (табл. 1.5) і покажемо, що у даному випадку формальні прогнози будуть мати вищу загальну здійсненність, ніж методичні.

Таблиця 1.5 – Здійсненність прогнозів гроз за червень – серпень

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Без грози $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	4/0	2/6	6
Грози не було $\dot{\Phi}$	11/0	75/86	86
Сума	15	77	92

За даними табл. 1.5 маємо:

$$P=85,5 ; P_{\phi}=93,4 .$$

Щоб виявити успішність методичних прогнозів, використовуючи критерій «загальна здійсненність», необхідно встановити їх перевагу перед випадковими. Загальна здійсненність випадкових прогнозів розраховується за такою формулою:

$$P_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{N} = \frac{n_{01} n_{10} + n_{02} n_{20}}{N^2} . \quad (1.6)$$

де E_{ϕ} – число випадково здійснених прогнозів.

При цьому величина
$$E_{\phi} = \frac{n_{01} n_{10}}{N} + \frac{n_{02} n_{20}}{N} . \quad (1.7)$$

Зрештою для оцінки успішності прогнозу можна використовувати

відношення $\delta_p = \frac{P}{P_{\phi}}$ або різницю $P = P - P_{\phi}$.

Приклад 3.

За даними табл. 1.4 для методичних прогнозів:

$$P_{\phi} = \frac{16 \cdot 23 + 76 \cdot 69}{92^2} = 66,3 .$$

Як бачимо, методичні прогнози мають перевагу в загальній здійсненності порівняно з випадковими прогнозами на величину $P_c = 23,9$.

Використовуючи дані таблиці 1.5, маємо: $P_{\phi} = 79,3 ; P_{\phi} = 6,5$.

Отримані результати свідчать про те, що використання в оперативних умовах першого способу прогнозування має більшу перевагу.

2. Критерій надійності прогнозів за Н. А. Багровим.

Він записується таким чином:

$$H = \frac{P - P_{\phi}}{1 - P_{\phi}} . \quad (1.8)$$

Якщо $H = 1$ – всі прогнози здійснилися, $H = 0$ – прогнози мають випадковий розподіл (на рівні випадкових), $H = -1$ – усі прогнози помилкові.

Приклад 4.

Порівняємо успішність двох методів прогнозів гроз (за даними табл. 1.4, 1.6), використовуючи критерій надійності за Н. А. Багровим.

Таблиця 1.6 – Здійсненність прогнозів гроз за червень – серпень

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза Π	Без грози $\bar{\Pi}$	
Гроза була Φ	10/0	6/16	16
Грози не було $\bar{\Phi}$	10/0	66/6	76
Сума	20	72	92

На основі даних табл. 1.4 для методичних прогнозів знаходимо:

$$H = \frac{0,902 - 0,663}{1 - 0,663} = 0,709.$$

Для методичних прогнозів за даними табл. 1.6 отримуємо:

$$H = \frac{0,826 - 0,684}{1 - 0,684} = 0,449.$$

На цій підставі можна зробити висновок, що перший метод (табл. 1.4) помітно кращий за другий ($H = 0,260$).

3. Критерій точності прогнозів за А. М. Обуховим.

Він має такий вигляд:

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \quad (1.9)$$

Приклад 5.

Розрахуємо відповідно до формули (1.9) успішність методичних і формальних прогнозів за даними, що наведені в табл. 1.5 і 1.6. Результати розрахунків представлені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Розрахунок величини Q

Методичний прогноз		Формальний прогноз	
Дані табл. 1.5	Дані табл. 1.6	Дані табл. 1.5	Дані табл. 1.6
0,539	0,493	0	0

У випадку ідеальних прогнозів $Q=1$, для випадкових $Q=0$, якщо всі прогнози помилкові, величина $Q=-1$.

З табл. 1.7 видно, що в обох випадках формальні прогнози знаходяться на рівні випадкових. Порівняння показує, що перший метод (табл. 1.5) має невелику перевагу ($Q=0,046$) відносно другого.

4. Критерій успішності прогнозів за С. Петерсеном.

Цей критерій записується таким чином:

$$S = \frac{n - E}{N - E}. \quad (1.10)$$

У формулі (1.10) $n = n_i$, а E – число здійсненності прогнозів, що очікується. Значення E може бути отримано на основі оцінок здійсненності неметодичних прогнозів: випадкового (E_e), інерційного (E_i), кліматологічного (E_k). Значення E_e визначаються за формулою (1.7), а E_k за формулою:

$$E_k = \frac{1}{m} N, \quad (1.11)$$

де m – число градацій явища Φ .

Приклад 6.

За даними табл. 1.5 для оцінки методичних прогнозів відносно випадкових отримуємо:

$$S_g = \frac{79 - 73}{92 - 63} = 0,316.$$

Теж саме за таблицею 1.6:

$$S_g = \frac{76-63}{92-63} = 0,448.$$

Перевага другого методу над першим складає величину $\Delta S_g = 0,132$.

Оцінка методичних прогнозів відносно кліматологічних дає такі результати. У табл. 1.5 і 1.6 число $m = 2$. Звідси $E_k = 46$. Тоді, згідно з

даними табл. 1.5, отримуємо $S_k = \frac{79-46}{92-46} = 0,717$, і відповідно з даними табл.

1.6, маємо $S_k = \frac{76-46}{92-46} = 0,652$. Порівняння цих результатів вказує на невелику

перевагу першого методу над другим ($\Delta S_k = 0,065$).

5. Кількість прогностичної інформації та інформаційне відношення.

Усі явища погоди мають кліматичну (природну) ймовірність здійснення. У цьому проявляється ймовірнісний характер прогнозів, що містять умовні ймовірності, тобто ймовірності здійснення явища, градації або значення метеоелемента за наявності деякої наперед відомої умови. Такою умовою може виступати наперед зафіксоване положення баричного утворення, наявність десь зони опадів тощо. Прогнози, таким чином, не є ідеальними, містять невизначеність у здійсненні або так звану статистичну ентропію. Якщо про деяке явище відомо все, то його ентропія дорівнює нулю. Невизначеність в явищі тим більша, чим більше число його рівноймовірностних станів.

Для будь-якого явища, градації або значення метеоелемента можна встановити його **кліматичну невизначеність**, розрахувавши статистичну ентропію H за формулою:

$$H(\Phi) = - \sum_{j=1}^n p(\Phi_j) \log p(\Phi_j), \quad (1.12)$$

де $p(\Phi_j)$ – безумовна ймовірність здійснення явища Φ_j ..

$$p(\Phi_j) = n_{j0} / N.$$

Формула (1.12) виражає **безумовну ентропію**. Задача методичного прогнозу зводиться до того, щоб зменшити безумовну ймовірність здійснення явища, яке прогнозується. При цьому ентропія системи ($\Pi_i \sim \Phi_j$) буде менше кліматичної. Вона називається **умовною ентропією** і розраховується за формулою:

$$p(\Pi_i)H(i|\Phi_j), (1.13)$$

$$H(\Pi) = \sum_{i=1}^m \square \sum_{i=1}^n i$$

У формулі (1.13) маємо:

$$p(\Pi_i) = n_{oi} / N,$$

$$p(i|\Phi_j), (1.14)$$

$$p(i|\Phi_j) \log i$$

$$H(\Pi_i|\Phi_j) = - \sum_{i=1}^n i$$

Одиниця вимірювання ентропії залежить від вибору основи логарифму. Якщо вона дорівнює 10, то H вимірюється в декадах, якщо 2, – у бітах.

Запишемо формули (1.12) і (1.13) у частотах:

$$H(\Phi) = - \left(\frac{n_{10}}{N} \log \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \log \frac{n_{20}}{N} + \dots + \frac{n_{n0}}{N} \log \frac{n_{n0}}{N} \right). (1.15)$$

У випадку альтернативного прогнозу ($n=m=2$) є тільки два перших доданка.

Для числа фаз $n=m>2$ величина $H(\Pi)$ визначається за формулою:

$$H(\Pi) = - \left[\frac{n_{01}}{N} \left(\frac{n_{11}}{n_{01}} \log \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \log \frac{n_{21}}{n_{01}} + \dots + \frac{n_{n1}}{n_{01}} \log \frac{n_{n1}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left(\frac{n_{12}}{n_{02}} \log \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \log \frac{n_{22}}{n_{02}} + \dots + \frac{n_{n2}}{n_{02}} \log \frac{n_{n2}}{n_{02}} \right) + \dots \right] (1.16)$$

Якщо $n=m=2$, то формула (1.16) приймає наступний вигляд:

$$H(\Pi) = - \left[\frac{n_{01}}{N} \left(\frac{n_{11}}{n_{01}} \log \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \log \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left(\frac{n_{12}}{n_{02}} \log \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \log \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) \right] (1.17)$$

Зменшення умовної ентропії в прогностичній моделі ($\Pi_i \sim \Phi_j$) порівняно з кліматичною виражається величиною

$$J(\Pi/\Phi) = H(\Phi) - H(\Pi), \quad (1.18)$$

яка називається **кількістю прогностичної інформації**.

При відношенні $J(\Pi/\Phi)$ до одиниці кліматичної ентропії явища $H(\Phi)$ отримуємо так зване **інформаційне відношення**

$$v = \frac{J(\Pi/\Phi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)}, \quad (1.19)$$

Ця величина показує, яку частину невизначеності кліматологічних прогнозів усуває інформація методичного прогнозу.

Приклад 7.

Як об'єкт прогнозування розглянемо погодні умови у вугільному кар'єрі, що представлені у двох фазах: перша Φ – туман, серпанок, імла і задимленість, друга Φ' – відсутність туману, серпанку, імли та задимленості. Оцінимо успішність інформаційних прогнозів двох вказаних фаз погодних умов на нічні години (24⁰⁰-06⁰⁰) за умовами погоди, які встановлюються в кар'єрі у вечірні години (18⁰⁰-24⁰⁰). Вихідні дані для цього представлені у вигляді матриці спряженості (табл.1.8).

Таблиця 1.8 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у вугільному кар'єрі.

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	Π'	
Φ	60	21	81
Φ'	1	252	253
Сума	61	273	334

Безумовна (кліматична) ентропія явища Φ буде дорівнювати:

$$H(\Phi) = - \left(\frac{81}{334} \log \frac{81}{334} + \frac{253}{334} \log \frac{253}{334} \right) = - (0,242 \log 0,242 + 0,757 \log 0,757) = 0,2407.$$

Умовна (прогностична) ентропія системи ($\Pi_i \sim \Phi_j$) буде дорівнювати:

$$H(\Pi) = - \left[\frac{61}{334} \left(\frac{60}{61} \log \frac{60}{61} + \frac{1}{61} \log \frac{1}{61} \right) + \frac{273}{334} \left(\frac{21}{273} \log \frac{21}{273} + \frac{252}{273} \log \frac{252}{273} \right) \right] = 0,1027.$$

Кількість прогностичної інформації

$$J(\Pi/\Phi) = 0,2407 - 0,1027 = 0,138$$

та інформаційне відношення

$$v = \frac{0,138}{0,2407} = 0,573.$$

Звідси зрозуміло, що в даному випадку екстраполяція погоди з вечірніх годин на нічні зменшує кліматичну невизначеність майже вдвічі.

Приклад 8.

Розрахуємо величини $J(\Pi/\Phi)$ та v для двох способів прогнозування, що представлені в табл. 1.5 і 1.6.

За даними табл. 1.5, знаходимо:

$$H(\Phi) = - \left(\frac{6}{92} \log \frac{6}{92} + \frac{86}{92} \log \frac{86}{92} \right) = 0,1046,$$

$$H(\Pi) = - \left[\frac{15}{92} \left(\frac{4}{15} \log \frac{4}{15} + \frac{11}{15} \log \frac{11}{15} \right) + \frac{77}{92} \left(\frac{2}{77} \log \frac{2}{77} + \frac{75}{77} \log \frac{75}{77} \right) \right] = 0,0847,$$

$$\frac{75}{77} \log \frac{75}{77} \right] = 0,0847,$$

$$J(\Pi/\Phi) = 0,1046 - 0,0847 = 0,0199,$$

$$v = \frac{0,0199}{0,1046} = 0,190.$$

За даними табл. 1.6, отримуємо таке:

$$H(\Phi) = - \left(\frac{16}{92} \log \frac{16}{92} + \frac{76}{92} \log \frac{76}{92} \right) = - [0,1739(-0,7595) + 0,8260 (-0,0830)] = 0,2005,$$

$$H(\Pi) = - \left[\frac{20}{92} \left(\frac{10}{20} \log \frac{10}{20} + \frac{10}{20} \log \frac{10}{20} \right) + \frac{72}{92} \left(\frac{6}{72} \log \frac{6}{72} + \frac{66}{72} \log \frac{66}{72} \right) \right] = 0,1628.$$

$$J(\Pi/\Phi) = 0,2005 - 0,1628 = 0,0377,$$

$$v = \frac{0,0377}{0,2005} = 0,188.$$

6. Узагальнені критерії успішності прогнозів за Г. А. Карпеевим.

При оцінюванні успішності методичних прогнозів шляхом порівняння їх з неметодичними вибір останніх залишається довільним. Ускладнюється порівняння результатів, отриманих за різними критеріями. Г. А. Карпеев запропонував нормувати критерії А. М. Обухова та Н. А. Багрова відносно випадкового прогнозу та отримати таким чином дані, які можна порівнювати.

Представимо табл. 1.2 виправданості прогнозів у формі вірогідностей, тобто перейдемо в ній від елементів n_{ij} , що представляють собою число випадків, до можливостей $p_{ij} = n_{ij}/N$ (табл. 1.9).

Таблиця 1.9 – Виправданість прогнозів погоди у формі вірогідностей
(за даними табл. 1.6)

Φ_j	Π_i		
	Π	$\dot{\Pi}$	$p(\Phi_j)$
Φ	$p(\Phi, \Pi) = \frac{n_{11}}{N} = 0,109$	$p(\Phi, \dot{\Pi}) = \frac{n_{12}}{N} = 0,065$	$p(\Phi) = \frac{n_{10}}{N} = 0,174$
$\dot{\Phi}$	$p(\dot{\Phi}, \Pi) =$	$p(\dot{\Phi}, \dot{\Pi}) =$	$p(\dot{\Phi}) = \frac{n_{20}}{N} = 0,826$

	$\frac{n_{21}}{N} = 0,109$	$\frac{n_{22}}{N} = 0,717$	
p (Π_i)	$p(\Pi) = \frac{n_{01}}{N} = 0,218$	$p(\dot{\Pi}) = \frac{n_{02}}{N} = 0,782$	$\sum_{i=1} p(\Pi_i) = \sum_{j=1} p(\Phi_j) =$

Тоді критерії успішності p , p_v , H та Q запишемо у такому вигляді.

1. Загальна виправданість прогнозів

$$p = p(\Phi, \Pi) + p(\dot{\Phi}, \dot{\Pi}) \quad (1.20)$$

2. Загальна виправданість випадкових прогнозів

$$p_v = p(\Phi) \cdot p(\Pi) + p(\dot{\Phi}) \cdot p(\dot{\Pi}). \quad (1.21)$$

3. Критерій надійності прогнозів за Н. А. Багровим

$$H = \frac{p(\Phi, \Pi) + p(\dot{\Phi}, \dot{\Pi}) - [p(\Phi)p(\Pi) - p(\dot{\Phi})p(\dot{\Pi})]}{1 - [p(\Phi)p(\Pi) - p(\dot{\Phi})p(\dot{\Pi})]} = \frac{p - p_e}{1 - p_e} \quad (1.22)$$

4. Критерій точності прогнозів за А. М. Обуховим

$$Q = \frac{p - p_e}{1 - p_1}. \quad (1.23)$$

Значення p_1 у (1.23) дорівнює

$$p_1 = p^2(\Phi) + p^2(\dot{\Phi}). \quad (1.24)$$

Формули (1.22) та (1.23) нормовані відносно випадкової події, тобто коли $p(\Phi, \Pi) = p(\Phi)p(\Pi)$. Для випадкових прогнозів критерії H та Q дорівнюють нулю, а для ідеальних – одиниці.

Приклад 9.

Розрахуємо узагальнені критерії на основі даних, що наведені для методичних прогнозів у табл. 1.5 та 1.6.

Отримуємо такі результати (за табл. 1.5):

$$p_{11} = 0,043, \quad p_{12} = 0,022, \quad p_{10} = 0,065,$$

$$p_{21} = 0,120, \quad p_{22} = 0,815, \quad p_{20} = 0,935,$$

$$p_{01} = 0,163, \quad p_{02} = 0,837.$$

Звідси

$$p = 0,858, \quad p_B = 0,793, \quad p_1 = 0,878,$$

$$H = 0,314, \quad Q = 0,533.$$

На основі табл. 1.6 маємо:

$$p = 0,826, \quad p_B = 0,684, \quad p_1 = 0,713,$$

$$H = 0,449, \quad Q = 0,494.$$

У підсумковій табл. 1.10 наведені результати розрахунку всіх критеріїв, що дозволяє встановити переваги одного з методів прогнозування.

Таблиця 1.10 – Критерії успішності за двома методами прогнозування

Критерії	$p, \%$	$P_B, \%$	H	Q	J	$v, \%$
Перший метод						
A	85,8	79,3	0,286	0,539	0,0199	19,0
B	0,858	0,793	0,318	0,318	–	–
Другий метод						
A	82,6	68,4	0,449	0,493	0,0377	18,8
B	0,826	0,684	0,449	0,494	–	–

Примітка: A – ненормовані критерії,

B – нормовані критерії (узагальнені критерії за Г. А. Карпесвим)

Співставлення критеріїв успішності двох методів прогнозування дозволяє зробити висновок: незважаючи на те, що перший метод прогнозування має загальну виправданість на 3,2% більшу, ніж другий, та все ж, враховуючи інші критерії і різності Δp , ΔH та ΔQ , другий метод, напевно, більш переважний.

1.5 Оцінка успішності штормових попереджень

Штормові попередження про небезпечні та особливо небезпечні метеорологічні явища представляють собою надзвичайно важливу інформацію для користувача. Це прогноз критичних умов погоди. Штормові попередження можуть бути як альтернативними, так і багатозоновими. При оцінці штормових попереджень слід мати на увазі три можливі випадки: 1) штормове

попередження дано і виправдалось; 2) штормове попередження дано і не виправдалось; 3) штормовий стан погоди не був передбачений, але фактично спостерігався.

Щоб визначити успішність штормових попереджень, необхідно встановити можливість кожного з трьох випадків. Крім того, успішність штормових попереджень буде залежати від завчасності, з якою вони надані. Штормове попередження з нульовою завчасністю є штормовим сповіщенням, яке не представляє для користувача очікуваної практичної цінності.

Таблиця виправданості штормових попереджень (табл. 1.11) має такий вигляд.

Таблиця 1.11 – Таблиця виправданості штормових попереджень

Фактична погода Φ_j	Штормове попередження Π_i		Сума
	Надано штормове попередження, Π	Штормове попередження не надано, $\bar{\Pi}$	
Штормова погода, Φ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
Не було штормової погоди, $\bar{\Phi}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
Сума	n_{01}	n_{02}	N

Розподіл частот n_{ij} у табл. 1.11 дає повне уявлення про характер помилок та успішність штормових попереджень у цілому. Тут n_{11} – число випадків, коли штормові попередження давалися і виправдалися за характером явища та допустимої помилки завчасності; n_{21} – число випадків, коли штормові попередження давалися, але прогнози не виправдалися, тобто штормової погоди фактично не було; n_{12} – число випадків, коли штормова погода спостерігалась, а штормове попередження дано не було. В останньому випадку користувач, який не отримав завчасно попередження про розвиток небезпечних умов погоди, може понести матеріальні збитки.

Частота n_{22} – число випадків, коли штормова погода не прогнозувалась і фактично не спостерігалась. На основі даних табл. 1.11 можна розрахувати такі критерії успішності штормових попереджень.

1. Загальна виправданість штормових попереджень

$$p_{\text{шт}} = \frac{n_{11} + i n_{22}}{N} \quad (1.25)$$

Значення $p_{\text{шт}}$ може бути виражено в долях одиниці або відсотках. Критерій $p_{\text{шт}}$ не відображає характер розподілу помилок штормових попереджень, а тому розглядається лише як приблизний.

2. Попереджуваність – відношення виправданих штормових попереджень n_{11} до загального числа штормових явищ n_{10} .

$$r = \frac{n_{11}}{n_{10}} \quad (1.26)$$

Цей критерій виражає успішність штормових попереджень і широко використовується на практиці.

3. Відношення умовної ймовірності $\left(\frac{n_{11}}{n_{01}} \right)$ до безумовної $\left(\frac{n_{10}}{N} \right)$

$$\lambda = \frac{n_{11}}{n_{01}} : \frac{n_{10}}{N} \quad .$$

Чим більше λ , тим більш чутливий метод до відносно рідкісних, але практично небезпечних умов погоди.

Приклад 10.

Необхідно оцінити успішність штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень) (табл. 1.12)

Таблиця 1.12 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень)

Фактична погода Φ_j	Штормове попередження Π_i		Сума
	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	25	5	30
$\bar{\Phi}$	8	144	152
Сума	33	149	182

1. Загальна виправданість $p_{шт}$

$$p_{шт} = \frac{25+144}{182} = 92,8 \%$$

2. Попереджуваність r

$$r = \frac{25}{30} = 0,833 = 83,3 \%$$

3. Відношення λ

$$\lambda = \frac{25}{33} \cdot \frac{30}{182} = 4,59$$

Базою теоретичної частини практикуму та прикладів розрахунків є навчальний посібник Хандожко, Л. А. «Оценка успешности метеорологических прогнозов» [Текст] / Л. А. Хандожко. – Л.: ЛПИ, 1977. – 68с.

Контрольні питання

1. Роз'ясніть зміст поняття «метеорологічний прогноз».
2. Як поділяють метеорологічні прогнози за призначенням?
3. Які вимоги ставлять до спеціалізованих прогнозів?

4. У чому полягає різниця між загальними та спеціалізованими прогнозами погоди?
5. Назвіть основні вимоги, які ставлять до штормових попереджень?
6. Назвіть та надайте характеристику особливо небезпечних метеоявищ.
7. Перерахуйте та надайте характеристику особливо небезпечних агрометеорологічних явищ.
8. Які явища погоди відносять до особливо небезпечних? Надайте характеристику.
9. Класифікуйте прогнози погоди за ступенем точності.
10. Надайте вичерпну характеристику випадкових, інерційних, кліматологічних, категоричних та ймовірнісних прогнозів погоди.
11. Як поділяються фазові прогнози погоди?
12. У чому полягає різниця між альтернативними і багатофазовими прогнозами погоди?
13. При якій сукупності прогнозів можна розраховувати на задовільні результати під час оцінки успішності прогнозування?
14. При якому представництві статистичного ряду прогнозу стану погоди можна розраховувати на добрі результати при оцінці успішності прогнозування?
15. Яке призначення оцінки прогнозів погоди?
16. Які вимоги ставлять до оцінки прогнозів погоди?
17. За якими критеріями здійснюється оцінка успішності альтернативних прогнозів погоди?
18. Що потрібно враховувати при оцінці штормових попереджень?
19. Назвіть приклади багаторазових і альтернативних штормових попереджень.
20. У чому полягає оцінка успішності штормових попереджень?

Задачі

Задача №1

Заповніть до кінця перші дві матриці даних спряженості прогнозів гроз за три літні місяці згідно з вхідними даними свого варіанту (див. додаток). На їх

основі потрібно оцінити виправданість прогнозів гроз і зробити висновок: виправданість яких прогнозів (формальних чи методичних) вища в кожному конкретному випадку.

Задача №2

Використовуючи дані перших двох таблиць згідно з вхідними даними свого варіанту (див. додаток) на основі формули загальної виправданості випадкових прогнозів погоди, потрібно розрахунковим шляхом показати успішність методичних прогнозів перед випадковими на основі критерію «загальна виправданість прогнозів».

Задача №3

Порівняйте та зробіть висновок про успішність двох методів прогнозів гроз, виправданості яких наведені у першій та третій таблиці кожного варіанту (див. додаток), використовуючи критерій надійності за Н. А. Багровим.

Задача №4

Використовуючи критерій точності прогнозів за А. М. Обуховим, розрахуйте та зробіть висновок про успішність методичних і формальних прогнозів за даними прогнозів гроз, які наведені у перших трьох таблицях згідно з вхідними даними свого варіанту (див. додаток).

Задача №5

Використовуючи критерій успішності прогнозів за С. Петерсоном, оцініть і зробіть висновок про переваги методичних прогнозів відносно випадкових і кліматологічних за даними виправданості прогнозів гроз, які наведені у другій та третій таблицях згідно з вхідними даними свого варіанту (див. додаток).

Задача №6

Оцініть успішність інформаційних прогнозів двох вказаних фаз погодних умов в Ганнівському залізорудному кар'єрі на нічні години ($24^{00} - 06^{00}$) за умовами погоди, які встановлюються в кар'єрі ввечері ($18^{00} - 24^{00}$). Зробіть висновок про можливість екстраполяції погоди з вечірніх годин на нічні (за даними четвертої та п'ятої таблиць додатку по варіантах).

Задача №7

Використовуючи узагальнюючі критерії успішності прогнозів за Г. А. Карпєєвим, необхідно встановити перевагу одного з методів прогнозування на основі даних, наведених для методичних прогнозів у другій та третій таблицях кожного варіанту (див. додаток). Результати розрахунків необхідно внести до підсумкової таблиці (див. нижче).

Таблиця – Критерії успішності за двома методами прогнозування

Критерії	p, %	P _v , %	H	Q	J	v, %
Перший метод						
А						
В						
Другий метод						
А						
В						

На основі отриманих величин необхідно зробити висновок, який метод прогнозування найкращий.

Задача №8

Використовуючи дані шостої та сьомої таблиць згідно з вхідними даними свого варіанту (див. додаток) необхідно оцінити успішність штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

ДОДАТОК

Варіант №1.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	10/0	1/11	
Грози не було $\dot{\Phi}$	8/0	73/81	
Сума			92

Примітка: в чисельнику дробу – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу, у знаменнику дробу - число n_{ij} у випадку формального прогнозу

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	4/0	3/7	
Грози не було $\dot{\Phi}$	12/0	73/85	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	5/0	6/11	
Грози не було $\dot{\Phi}$	6/0	75/81	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	60	21	

Ф	1	283	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	П	ІП	
Ф	55	25	
Ф	15	270	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Ф _j	Штормові попередження П _i		Сума
	П	ІП	
Ф	25	5	
Ф	8	144	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Ф _j	Штормові попередження П _i		Сума
	П	ІП	
Ф	55	25	
Ф	10	92	
Сума			182

Варіант №2.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	20/0	3/23	
Грози не було $\dot{\Phi}$	11/0	58/69	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	3/0	5/8	
Грози не було $\dot{\Phi}$	15/0	69/84	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	11/0	12/23	
Грози не було $\dot{\Phi}$	9/0	60/69	

Сума			92
------	--	--	----

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	45	30	
$\bar{\Phi}$	5	285	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	55	23	
$\bar{\Phi}$	7	280	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	45	30	
$\bar{\Phi}$	5	102	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична	Штормові попередження Π_i	Сума
----------	-------------------------------	------

погода Φ_j	П	Ї	
Ф	55	23	
ф	7	97	
Сума			182

Варіант №3.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде П	Грози не буде Ї	
Гроза була Ф	25/0	2/27	
Грози не було ф	18/0	47/65	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде П	Грози не буде Ї	
Гроза була Ф	9/0	1/10	
Грози не було	8/0	74/82	

Ф			
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	Гроза буде П	Грози не буде П	
Гроза була Ф	24/0	3/27	
Грози не було Ф	15/0	50/65	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	П	П	
Ф	90	11	
Ф	4	260	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	П	П	
Ф	45	45	
Ф	25	250	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактическая погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\acute{\Pi}$	
Φ	90	11	
$\acute{\Phi}$	4	77	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактическая погода Φ_j	Штормові попередження $\acute{\Pi}$		Сума
	Π	$\acute{\Pi}$	
Φ	45	45	
$\acute{\Phi}$	25	67	
Сума			182

Варіант №4.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\acute{\Pi}$	
Гроза була Φ	5/0	2/7	
Грози не було $\acute{\Phi}$	8/0	77/85	
Сума			92

Примітка: в чисельнику дробу – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,

у знаменнику дробу - число n_{ij} у випадку формального прогнозу

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	11/0	1/12	
Грози не було $\dot{\Phi}$	10/0	70/80	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	3/0	4/7	
Грози не було $\dot{\Phi}$	20/0	65/85	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	65	22	
$\dot{\Phi}$	8	270	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	61	20	
$\dot{\Phi}$	1	283	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	65	22	
$\dot{\Phi}$	8	87	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	61	20	
$\dot{\Phi}$	1	100	
Сума			182

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	17/0	1/18	
Грози не було $\dot{\Phi}$	4/0	70/74	
Сума			92

Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу, у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	3/0	2/5	
Грози не було $\dot{\Phi}$	2/0	85/87	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	12/0	6/18	
Грози не було $\dot{\Phi}$	12/0	62/74	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода	Прогноз Π_i	Сума
-----------------	-----------------	------

Φ_j	П	$\dot{П}$	
Ф	63	32	
$\dot{\Phi}$	4	266	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	П	$\dot{П}$	
Ф	42	40	
$\dot{\Phi}$	3	280	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	П	$\dot{П}$	
Ф	84	13	
$\dot{\Phi}$	8	77	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	П	$\dot{П}$	
Ф	17	47	
$\dot{\Phi}$	3	115	
Сума			182

Варіант №6.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	17/0	1/18	
Грози не було $\dot{\Phi}$	4/0	70/74	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	11/0	5/16	
Грози не було $\dot{\Phi}$	10/0	66/76	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	9/0	9/18	

Грози не було Ф	10/0	64/74	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	П	П'	
Ф	51	24	
Ф'	11	279	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Ф _j	Прогноз П _i		Сума
	П	П'	
Ф	40	30	
Ф'	5	290	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Ф _j	Штормові попередження П _i		Сума
	П	П'	
Ф	63	32	
Ф'	4	83	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	42	40	
$\dot{\Phi}$	3	97	
Сума			182

Варіант №7.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	14/0	3/17	
Грози не було $\dot{\Phi}$	15/0	60/75	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	

Гроза була Φ	19/0	1/20	
Грози не було $\acute{\Phi}$	7/0	65/72	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\acute{\Pi}$	
Гроза була Φ	8/0	9/17	
Грози не було $\acute{\Phi}$	10/0	65/75	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\acute{\Pi}$	
Φ	43	21	
$\acute{\Phi}$	7	294	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\acute{\Pi}$	
Φ	69	22	
$\acute{\Phi}$	14	260	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	51	24	
$\dot{\Phi}$	11	96	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	4	30	
$\dot{\Phi}$	50	98	
Сума			182

Варіант №8.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	19/0	1/20	

Грози не було $\dot{\Phi}$	19/0	53/72	
Сума			92

Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	4/0	4/8	
Грози не було $\dot{\Phi}$	10/0	74/84	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	10/0	10/20	
Грози не було $\dot{\Phi}$	22/0	50/72	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	73	12	
$\dot{\Phi}$	13	267	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	43	16	
$\dot{\Phi}$	6	300	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	43	9	
$\dot{\Phi}$	7	123	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	69	12	
$\dot{\Phi}$	14	87	
Сума			182

Варіант №9.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	7/0	1/8	
Грози не було $\dot{\Phi}$	3/0	81/84	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	29/0	1/30	
Грози не було $\dot{\Phi}$	22/0	40/62	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	7/0	1/8	
Грози не було $\dot{\Phi}$	14/0	70/84	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	84	13	
$\dot{\Phi}$	8	260	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	17	47	
$\dot{\Phi}$	3	298	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	73	12	
$\dot{\Phi}$	13	84	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	43	16	
$\dot{\Phi}$	6	117	

Сума			182
------	--	--	-----

Варіант №10.

Таблиця 1 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	30/0	1/31	
Грози не було $\dot{\Phi}$	7/0	54/61	
Сума			92

*Примітка: в чисельнику дроби – число n_{ij} у випадку методичного прогнозу,
у знаменнику дроби - число n_{ij} у випадку формального прогнозу*

Таблиця 2 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	5/0	2/7	
Грози не було $\dot{\Phi}$	11/0	74/85	
Сума			92

Таблиця 3 – Виправданість прогнозів гроз за червень – серпень (92 дні)

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Гроза буде Π	Грози не буде $\dot{\Pi}$	
Гроза була Φ	21/0	10/31	
Грози не було $\dot{\Phi}$	16/0	45/61	
Сума			92

Таблиця 4 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	86	21	
$\dot{\Phi}$	17	241	
Сума			365

Таблиця 5 – Матриця спряженості для прогнозу умов погоди за двома фазами у Ганнівському залізорудному кар'єрі (1 фаза – туман, серпанок, імла і задимленість, 2 фаза – їх відсутність).

Фактична погода Φ_j	Прогноз Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	69	9	
$\dot{\Phi}$	8	279	
Сума			365

Таблиця 6 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Φ_j	Штормові попередження Π_i		Сума
	Π	$\dot{\Pi}$	
Φ	86	7	

Ф	7	82	
Сума			182

Таблиця 7 – Виправданість штормових попереджень про тумани протягом холодної пори року (жовтень – березень).

Фактична погода Ф _j	Штормові попередження П _i		Сума
	П	І	
Ф	69	9	
Ф	8	96	
Сума			182