

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВОЛОШИНА О. В.

ПІДПРИЄМНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ  
розділ “Економіка гідрометеорологічного забезпечення  
господарства України”

Конспект лекцій

Одеса  
Одеський державний екологічний університет  
2019

**УДК 551.5:33**  
**В 67**

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол №10 від 04.07.2019р.)

**Волошина О.В.**

Підприємницька діяльність (розділ “Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України”): Конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2019. 75 с.

Конспект лекцій призначений для студентів за спеціальністю „Науки про Землю”. В конспекті лекцій викладені відомості щодо організації системи гідрометеорологічного забезпечення господарства та перспектив її розвитку, специфіки забезпечення окремих галузей господарства, оцінки економічної ефективності гідрометеорологічної інформації, наукові методи оцінки потенціальної та реальної економічної ефективності гідрометеорологічного забезпечення, оптимальне використання гідрометеорологічної інформації, оптимальні стратегії споживача.

**ISBN 978-966-186-042-0**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	7
1.1 Предмет, зміст і завдання метеорологічного забезпечення господарства України.....	7
1.1.2 Метеорологічна інформація.....	7
1.1.3 Прогностична інформація.....	8
1.2 Оперативне гідрометеорологічне забезпечення України.....	15
1.2.1 Гідрометеорологічний центр України.....	15
1.3 Класифікація споживачів гідрометеорологічної інформації. Галузева спрямованість гідрометеорологічного забезпечення.....	17
1.3.1 Гідрометеорологічне забезпечення галузей господарства України..	18
1.4 Міжнародні аспекти гідрометеорологічного забезпечення. Сучасні напрямки розвитку. Міжнародні програми дослідження атмосфери та океану. Служби погоди в різних країнах.....	21
1.4.1 Всесвітня метеорологічна організація .....	21
1.4.2 Всесвітня служба погоди .....	24
2. ОЦІНКА УСПІШНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗОВ.....	26
2.1 Загальні умови оцінки прогнозів погоди.....	26
2.2. Призначення оцінки успішності прогнозів погоди. Вимоги, що пред'являються до оцінки успішності прогнозів.....	29
2.2.1. Параметри якості прогнозу.....	32
2.2.2 Критерій успішності.....	34
2.2.3. Середня помилка.....	35
2.2.4. Середня абсолютна помилка.....	36
2.2.5. Середня квадратична помилка.....	37
2.2.6. Приведена дисперсія.....	38
2.3. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди.....	39
2.3.1. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди по пункту на добу і уточнень на поточний день, якщо СМЯ II та СМЯ III не прогнозувались і не спостерігались.....	39
2.3.2. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди по території на 1-3 доби, уточнень на поточний день, якщо СМЯ II та СМЯ III не прогнозувалось і не спостерігалось.....	42
2.4. Побудова матриць спряженості альтернативних прогнозів погоди.....	47
2.4.1. Загальне справджування.....	48
2.4.2. Метод вагових коефіцієнтів .....	49
2.5. Критерії статистичного зв'язку.....	59
3. ОПТИМАЛЬНІ ГОСПОДАРЧІ СТРАТЕГІЇ СПОЖИВАЧА.....	64

3.1 Збитки та їх класифікація. Оцінка збитків та збереження матеріальних коштів.....	64
3.2 Оцінки економічного ефекту оперативних метеорологічних прогнозів .....	67
3.2.1 Оптимізація рішень на підставі альтернативного прогнозу.....	70
ЛІТЕРАТУРА.....	75

## В С Т У П

Конспект лекцій з дисципліни «Підприємницька діяльність» (розділ Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України) розроблений для студентів-метеорологів денної та заочної форми навчання.

Основне завдання курсу – вивчення принципів і специфіки спеціалізованого метеорологічного забезпечення галузей економіки, методів оптимального використання метеорологічної інформації в господарській діяльності та оцінки її економічної корисності. Центральне місце в навчальній дисципліні відводиться вибору на підставі метеорологічної інформації найбільш вигідною господарської стратегії споживача, його оптимальних поточних виробничих рішень, а також оцінці одержуваної при цьому користі.

Інтенсивний розвиток гідрометеорологічної служби в світі в останні десятиліття ХХ ст. дозволило закласти основу наукової організації використання гідрометеорологічної інформації з метою досягнення більш повного врахування метеорологічного фактору для сталого розвитку сучасного суспільства.

Метеорологічні служби держав, численні метеорологічні організації та безпосередні споживачі метеорологічної інформації все в більшій мірі використовують науковий підхід оцінки наслідків врахування впливу навколишнього середовища на конкретні види людської діяльності.

Вивчення цієї галузі знань при підготовці спеціалістів-метеорологів стало обов'язковим. Методи і оцінки ефективної реалізації метеорологічної інформації розглядаються в навчальній дисципліні "Підприємницька діяльність", яка сформувалася на базі навчальних курсів „Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України" та "Економічна теорія".

В результаті освоєння компетенцій в рамках дисципліни «Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України» студент повинен:

### **знати:**

- сучасні принципи спеціалізованого метеорологічного забезпечення споживачів;
- вимоги до метеорологічної інформації в конкретній галузі економіки;
- системи оцінки успішності метеорологічних прогнозів;
- імовірнісні заходи статистики природних умов;
- основи вибору оптимальних погодно-господарських рішень;
- методичні основи оцінки економічного ефекту.

### **вміти:**

- розробляти матрицю спряженості альтернативних методичних і стандартних метеорологічних прогнозів;
- виконувати оцінку успішності альтернативних і багатофазових метеорологічних прогнозів;

- оцінювати економічну корисність використання метеорологічних прогнозів;

- оцінювати економічний ефект і економічну ефективність використання метеорологічних прогнозів

**ВОЛОДІТИ:**

- методикою оцінки успішності метеорологічних прогнозів;

- методикою оцінки економічної корисності використання метеорологічних прогнозів.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

## 1.1 Предмет, зміст і завдання метеорологічного забезпечення господарства України

Багатовіковий досвід пристосування людства до навколишнього середовища, зокрема до проявів погоди, а потім наукові дослідження і освоєння її дозволили в кінці ХХ ст. вийти на рівень теоретичного і практичного пізнання економічної корисності метеорологічної інформації.

Відмітна особливість практичної метеорології, як і гідрометеорології в цілому, полягає в тому, що вона не виробляє матеріальних цінностей безпосередньо, але сприяючи ефективному використанню гідрометеорологічних ресурсів, забезпечує виробничі інтереси економіки і підвищує безпеку людей, створює більш сприятливі умови їхнього життя і праці. Впровадження наукових методів використання фактичної і прогностичної інформації про природне середовище дозволяє помітно знизити втрати в економіці і соціальній сфері.

**Метою гідрометеорологічного забезпечення** є мінімізація втрат і попередження збитку, тобто зберігання матеріальних коштів. Ця мета досягається шляхом урахування та раціонального використання гідрометеорологічних умов у виробничому процесі. Таким чином, передумовами досягнення цієї мети є:

- поліпшення якості фактичної та прогностичної інформації;
- удосконалення системи спостережень, необхідних для прогнозування;
- наявність зворотних зв'язків із споживачем інформації, що дозволяє встановити адекватність його реакції в різноманітних реальних ситуаціях та кількісно оцінити ступінь їх впливу на виробничий процес.

**Предметом гідрометеорологічного забезпечення** є кількісне врахування впливу гідрометеорологічних умов на галузі народного господарства за наступними напрямками:

- оцінювання корисності гідрометеорологічної інформації в економічних категоріях (економічна ефективність гідрометеорологічного забезпечення), у тому числі для конкретних споживачів ГМІ;
- розроблення методів раціонального використання гідрометеорологічної інформації в соціально-економічному плануванні.

### 1.1.2 Метеорологічна інформація

Метеорологічною інформацією називається сукупність відомостей про стан атмосфери або про стан окремих метеорологічних величин.

Розрізняють два види метеорологічної інформації:

- *первинну інформацію* про поточну погоду, яка безпосередньо одержується в результаті метеорологічних спостережень;
- *вторинну інформацію* – інформацію про погоду, що спостерігалася, у вигляді різних зведень, синоптичних карт, аерологічних діаграм, вертикальних розрізів, знімків метеорологічних супутників.

Правильність аналізу атмосферних процесів і успішність прогнозів, що складаються, в значній мірі залежать від якості і своєчасності надходження первинної метеорологічної інформації.

При рішенні задачі складання метеорологічних прогнозів атмосфера повинна розглядатися як складна фізична система, стан якої характеризується рядом величин, які розглядаються у комплексі. В цей комплекс включаються атмосферний тиск, температура і вологість повітря, швидкість і напрямок вітру, продукти конденсації (хмарність, опади, тумани і т. д.), різні атмосферні явища. Більшість цих параметрів вимірюється безпосередньо або визначається візуально, деякі ж з них можна отримати тільки шляхом розрахунків.

Досить істотним для служби погоди є визначення оптимальної частоти і щільності спостережень. При складанні короткострокових метеопрогнозів (1-2 доби) необхідні дані з площі порядку  $10^7$  км<sup>2</sup> при щільності вимірювань 200-300 км і частоті 4-6 разів за добу.

Правильність синоптичного аналізу залежить від якості і своєчасності надходження інформації, а також виконання вимог, що ставляться до інформації, яка повинна бути ***глобальною, тривимірною, синхронною, регулярною і оперативною.***

У зв'язку з цим у службі погоди, як в окремих державах, так і в міжнародному масштабі, створені і постійно удосконалюються системи отримання метеорологічної інформації, а саме:

- наземна мережа – синоптичні і аерологічні станції;
- суднові, стаціонарні і дрейфуючі автоматичні буйкові морські гідрометеостанції;
- метеорологічні радіолокаційні станції;
- космічна система;
- авіаційна розвідка.

Системи отримання первинної метеоінформації дають дискретні або безперервні розподіли в часі і просторі значень багатьох характеристик атмосфери. Ці розподіли, тобто поля метеорологічних величин і явищ, можуть бути описані різними способами: словесно, таблично, графічно і аналітично. Для аналізу атмосферних процесів і прогнозу погоди використовуються різні засоби. Більш наочним і зручним є графічне подання первинної метеоінформації у вигляді карт, графіків, розрізів, діаграм.

### **1.1.3 Прогностична інформація**

При експлуатації об'єктів народного господарства основною інформацією є короткострокові та довгострокові прогнози погоди, необхідні



для планування народногосподарських заходів, виконання поточних робіт в усіх галузях народного господарства, а також для врахування втрат по метеорологічних умовах та аналізу економічної ефективності використання прогнозів.

Для прогнозування погоди необхідна інформація трьох категорій: фонові (глобальна), регіональна та локальна.

Прогнози погоди розрізняються між собою за завчасністю (за періодом/тривалістю дії), за характером, за територією, що охоплюється та за іншими умовами.

У залежності від періоду дії (тривалості дії) прогнозу розрізняють:

- 1) надкороткостроковий прогноз – на 12 год та менше ( у цій групі виділяють також «миттєві» прогнози (Nowcasting) - опис поточних погодних параметрів та прогноз погоди на 0-2 год);
- 2) короткостроковий прогноз - від 12 до 72 год;
- 3) середньостроковий прогноз – від 72 год (3 доби) до 240 год (10 діб) розширений прогноз - від 10 до 30 діб;
- 4) довгостроковий прогноз - на місяць та більш:
  - прогноз на місяць (30 діб) – опис осереднених погодних параметрів, виражених у формі аномалій від кліматичної норми протягом цього місяця;
  - прогноз на 3 місяці (90 діб) – опис осереднених погодних параметрів, виражених у формі аномалій від кліматичної норми протягом 90-денного періоду;
  - наддовгостроковий прогноз – опис осереднених погодних параметрів, виражених у формі аномалій від кліматичної норми для даного сезону;
- 5) кліматичний прогноз – понад двох років (опис очікуваного клімату, включаючи наслідки людського впливу);
- 6) прогноз мінливості клімату – опис очікуваних параметрів клімату, пов'язаний з варіацією міжрічних аномалій клімату, що відбуваються кожні десять років.

Іноді видаються також наддовгострокові прогнози циркуляційного режиму на рік або декілька років уперед. Такий прогноз є фоновим та складається поки як експериментальний.

**Під сезоном** умовно розуміють період грудень-січень-лютий (зима), березень-квітень-травень (весна) і т. д. У тропічних зонах сезон може мати різноманітну тривалість.

**Завчасність прогнозу** – це проміжок часу від моменту передачі прогнозу споживачу до початку його здійснення, тобто до початку тривалості (періоду) дії. У загальному випадку, чим вища завчасність прогнозу, тим більша тривалість його дії.

Цей розподіл вироблений практикою прогнозування та відповідає певним класам господарчої діяльності споживачів. У основі кожного з видів прогнозу полягає певна методика прогнозування, що має індивідуальні

тимчасові обмеження терміну придатності. Наприклад, середньострокові прогнози можуть використовувати гідродинамічні розрахунки, для довгострокових прогнозів застосовується метод аномалій, а в надкороткостроковому прогнозуванні широко використовуються властивості інерційності атмосферних процесів.

В основі класифікації може лежати аналіз автокореляційної функції метеорологічних величин. Автокореляція характеризує зв'язок між значеннями певної величини в різні моменти часу. Автокореляційна функція характеризує міру статистичного взаємозв'язку значень випадкової функції в різні моменти часу та визначається наступною формулою:

$$R_X(t_1; t_2) = [X(t_1) - \bar{X}(t_1)] \cdot [X(t_2) - \bar{X}(t_2)], \quad (1.1)$$

де  $X(t_1), X(t_2)$  – значення метеорологічної величини в моменти  $t_1$  та  $t_2$ ;  
 $\bar{X}$  – середнє значення величини  $X$ .

При малих часових зсувах значеннях  $t_1 - t_2$  коефіцієнт автокореляції є близьким до одиниці та позитивним. Зі збільшенням  $t_1 - t_2$  коефіцієнт звичайно зменшується. Змінюючи  $t_1 - t_2$ , можна розрахувати автокореляційну функцію (рис.1.1).

Період часу, за який кореляційна функція убуває в два рази, називається радіусом інерції ( $\tau_{iH}$ ). За цей період інерційний прогноз має більшу успішність, ніж кліматологічний прогноз, що передбачає прогноз норми (середнього значення).

Період часу, за якого кореляційна функція стає дорівнювати нулю, називається радіусом кореляції ( $\tau_{кор}$ ). Кореляційні зв'язки, що отримані в межах між радіусом інерції та радіусом кореляції, дають кращі прогностичні результати, ніж інерційні прогнози.

Радіус інерції та радіус кореляції дозволяють запровадити природну класифікацію тривалості прогнозів, що в цілому близько збігається з прийнятою в практиці. Класифікація, пов'язана з часовими масштабами, виглядає так:

- короткострокові прогнози складаються на термін менше радіуса інерції;
- середньострокові прогнози складаються на термін більше радіуса інерції та менше радіуса кореляції;
- довгострокові прогнози складаються на термін більше радіуса кореляції.

Порівняння справджування методичних прогнозів із справджуванням інерційних прогнозів є критерієм для використання даного прогностичного методу в оперативній роботі.

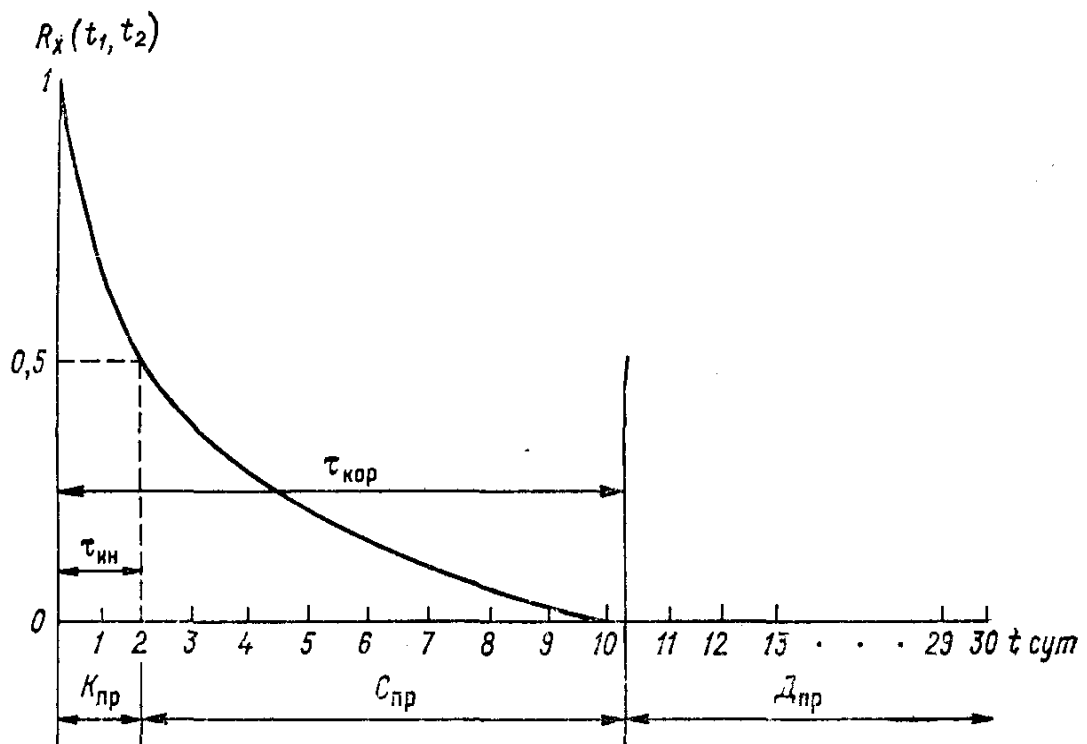


Рис. 1.1 – Загальний вигляд кореляційної функції та відповідні радіус інерції ( $\tau_{in}$ ) та радіус кореляції ( $\tau_{кор}$ ) тривалості короткострокових ( $K_{пр}$ ), середньострокових ( $C_{пр}$ ) та довгострокових ( $D_{пр}$ ) прогнозів.

За характером гідрометеорологічні прогнози діляться на два класи: методичні та стандартні (реперні).

**Методичні прогнози** є результатом застосування деяких фізично обґрунтованих методів (синоптичного, гідродинамічного, фізико-статистичного). Сучасні оперативні метеорологічні прогнози є методичними.

**Стандартні прогнози** не потребують розробки якоїсь методики або аналітичної або розрахункової роботи синоптика. До стандартних прогнозів відносяться випадкові, кліматологічні й інерційні.

**Випадковими** називаються такі прогнози, в яких очікувані фази погоди можуть здійснюватися або не здійснюватися при їх вибиранні випадковим чином. Для складання такого прогнозу не потрібна ніяка методика. Кожна фаза (значення, градація) метеорологічної величини або явища вибирається навмання, «наосліп», із сукупності, у якій розподіл фаз відповідає кліматичному.

Прогнози, у яких зазначається (зберігається) вихідний, початковий стан погоди, називаються **інерційними**. При складанні такого прогнозу використовують властивість інерції атмосферних процесів. Згідно з інерційним прогнозом, будь-який вихідний стан погоди можна розглядати як прогностичний. Зі збільшенням тривалості інерційного прогнозу, його справджування в середньому зменшується й помилка наближається до

помилки випадкового прогнозу. При атмосферних процесах, що швидко розвиваються, інерційні прогнози не можуть дати задовільних результатів.

З досвіду оперативної роботи відомо, що в ряді складних синоптичних ситуацій, коли важко знайти однозначне рішення, справджування методичних прогнозів може виявитися на рівні випадкових.

Властивість інерції атмосферних процесів може бути використана безпосередньо, або як один з провісників (чинників). Інерція визначає стійкість процесів у часі. Ступінь інерційності процесу можна визначити за допомогою автокореляційної функції.

**Кліматологічним** називається прогноз, який приймає прогнозованою величиною середнє багаторічне значення – норму. Для його складання також не потрібні спеціальні розрахунки синоптика. Кліматологічні норми використовуються звичайно в перспективному плануванні.

Стандартні прогнози – випадкові, кліматологічні й інерційні – через низьке справджування, як правило, не можуть задовольняти повсякденні запити практики. Вони використовуються для оцінювання справджування методичних прогнозів.

За змістом формулювання очікуваної погоди методичні прогнози підрозділяють на категоричні та ймовірнісні.

Прогнози погоди, що містять твердження про повну достовірність очікуваної погоди, називаються **категоричними**. Всі офіційні прогнози погоди в нашій країні, як спеціалізовані, так і загального користування, складаються в категоричній формі. У таких прогнозах фаза очікуваної погоди вказується у вигляді числа або інтервалу чисел (градації), у вигляді якісної характеристики (наприклад, «слабкий», «помірний», «сильний») або альтернативи (наприклад, наявність або відсутність явища). За формою такі прогнози містять категоричне твердження про очікувану погоду, що в дійсності не має 100 % справджування.

Інакше кажучи, категоричні прогнози містять твердження про конкретну фазу погоди та не містять відомостей, наскільки ймовірне таке твердження. Відомі методи прогнозу метеорологічних величин та явищ погоди дозволяють давати прогнози лише з визначеним ступенем надійності. Відсутність у них інформації про ймовірності очікуваних фаз погоди знижує їх цінність.

Споживач одержує прогнози, формулювання та термінологія яких відповідають вимогам “Наставлений по службі прогнозів”.

Прогнози погоди, які містять імовірності здійснення очікуваних фаз погоди, називаються **ймовірнісними**. Такий текст прогнозу, складений вже в рамках жорсткого регламенту, не припускає різноманітних тлумачень свого змісту.

Чим досконалішим є метод прогнозування, тим менше невизначеність очікуваної фази погоди. Ймовірнісний прогноз наближається до категоричного, тобто до твердження повної достовірності. Звідси, категоричний прогноз є, по суті, окремим випадком імовірнісного прогнозу.

Ймовірнісні прогнози - найбільш досконала форма прогнозів. Такі прогнози можуть бути успішно використані в економічних розрахунках перспективного й оперативного планування виробничої діяльності.

При достатньо великому числі однорідних за текстом та методам прогнозування категоричних прогнозів, можна скласти матрицю спряженості, або матрицю ймовірностей здійснення усіх фаз прогнозованого явища або елемента погоди. У цьому випадку всі категоричні прогнози можна подати у вигляді ймовірнісних. Такий прогноз стає ймовірнісним тільки в середньому, а фактичний ймовірнісний прогноз розраховується прогнозистом на підставі конкретної синоптичної ситуації. Середній же ймовірнісний прогноз не дає уявлення про ту погоду, що може наступити в конкретному випадку. Цей підхід до оцінювання середньої ймовірності здійснення фаз погоди при одному або іншому формулюванню прогнозу використовується для оцінки справджування прогнозів та виробітку споживачем оптимальних рішень.

За призначенням методичні метеорологічні прогнози (надалі будемо їх називати просто *прогнозами*) розділяють на два основних види: загальні прогнози погоди, або **прогнози загального користування** (призначення), що передаються для всіх громадян по радіо, телебаченню, що поміщаються в газетах, та **спеціалізовані прогнози погоди**, що складають для окремих галузей народного господарства.

Так, сільськогосподарські, авіаційні, морські, залізничні й інші галузеві прогнози відносяться до спеціалізованого. Вони призначені для конкретного споживача та містять опис очікуваного стану погоди, що відповідає специфіці його господарчої діяльності. Деякі прогностичні підрозділи складають прогнози, що характеризують небезпечні впливи гідрометеорологічних умов на виробничий або природний об'єкт. Це такі прогнози, як зледеніння морських та повітряних суден, лавинонебезпечності, селевих потоків, цунамі, повіні в гирлах рік, медико-метеорологічних умов, забруднення повітря, електризації літаків, умов зимового випасу худоби (у районах відгонно-пасовищного тваринництва), крижаної кірки (в оленярських районах), температури рейок (для залізничного транспорту). Особливе цільове призначення мають прогнози оптимального маршруту проходження суден морського транспорту та рибпромислового флоту.

Прогнози загального призначення використовуються широким колом споживачів, головним чином населенням. У загальних прогнозах погоди, що складаються та регулярно публікуються, даються відомості про очікувані хмарність, опади, особливі явища, температуру повітря та вітер.

Зміст, час упорядкування та передача спеціалізованих прогнозів погоди регламентуються відповідними угодами, що встановлюються між прогностичними підрозділами та споживачами прогнозів погоди.

До спеціалізованих прогнозів відносяться й попередження про небезпечне та стихійне гідрометеорологічне явище, що складаються в зв'язку з загрозою виникнення таких явищ погоди. Прогнози небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ (ураганні вітри, повіні, потужні

снігопади та заметілі, сильна пилова та чорна буря тощо), що спричинюють збитки або викликають стихійні лиха, передаються для населення та організацій негайно.

Спеціалізовані прогнози розрізняються за змістом та характеристикою тих метеорологічних величин та явищ погоди, якими цікавиться дана галузь. Так, в авіаційних прогнозах у першу чергу звертається увага на хмарність, дальність видимості, тумани, грози; у морських прогнозах – на напрямок та швидкість вітру, хвилювання моря; у сільськогосподарських прогнозах – на опади, зволоження ґрунту і т.д.

У залежності від охоплення території розрізняють:

1) **прогноз по району** або частині району – містить узагальнені прогностичні дані по території;

2) **прогноз по маршруту** – містить узагальнені прогностичні відомості по всьому маршруту або окремих його частинах;

3) **прогноз по пункту** – прогноз, що містить прогностичну інформацію по конкретному пункту в межах району обслуговування.

Прогнози по району, пункту та маршруту, що складаються для конкретної галузі народного господарства, є спеціалізованими.

Спеціалізовані прогнози можуть бути постійними, сезонними та тимчасовими (протягом декількох днів, тижнів), що розробляються для виконання окремих термінових та важливих господарчих заходів. Крім того, за заявками можуть складатися разові спеціалізовані прогнози.

**Консультації** для ряду господарчих організацій про майбутню погоду також варто розглядати як спеціалізовані прогнози, виражені в більш докладній усній або письмовій формі.

До спеціалізованих прогнозів пропонуються наступні **вимоги**.

1. Прогнози повинні передаватися споживачу з достатньою для нього завчасністю. Споживач часто потребує збільшення завчасності, тому що бачить в цьому особливу практичну корисність прогнозів. Проте зі збільшенням завчасності зменшується справджуваність прогнозів. Мінімум завчасності спеціалізованих прогнозів встановлюється споживачем на підставі досвіду використання прогнозів, а максимум – прогностичним підрозділом виходячи з існуючих можливостей прогнозування. Чим більша тривалість прогнозу, тим більша повинна бути його завчасність. Так, довгострокові прогнози великої тривалості, наприклад на місяць, сезон, мають завчасність півмісяця або місяць.

2. Прогнози повинні мати стійку високу справджуваність, тобто високий ступінь відповідності між фактичною та прогнозованою погодою, що отриманий з достатньо великого числа прогнозів. Прогнозист повинен цілком кваліфіковано розрізняти природу помилок прогнозу, враховувати їх різноманітний вплив на виробництво.

3. Текст (зміст) прогнозу, що видається споживачеві, повинен мати таку властивість, при якій прогнозист не має можливості заздалегідь впливати на

справджуваність прогнозу. Від цієї хиби вільні прогнози, сформульовані в імовірнісній формі.

4. Прогноз повинен бути так складений, щоб твердження про здійснення погоди не залишали місця для домислів та дозволяли б споживачеві використовувати їх в математико-економічних моделях виробництва найбільш оптимальним чином. Для цього також бажаний імовірнісний прогноз. Проте в даний час в оперативній практиці служби прогнозів поки ще використовується категоричний прогноз.

До штормових попереджень пред'являються три основних вимоги:

- завчасність, достатня для прийняття споживачем ефективних запобіжних заходів захисту;
- високу справджуваність, що дозволяє економічно ефективно використовувати запобіжні заходи,
- своєчасне доведення його до всіх споживачів.

## **1.2 Оперативне гідрометеорологічне забезпечення України**

### **1.2.1 Гідрометеорологічний центр України**

Український гідрометеорологічний центр (далі УкрГМЦ) входить до системи державної гідрометеорологічної служби і є бюджетною організацією, що знаходиться у сфері управління Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи (МНС України).

УкрГМЦ у межах своїх повноважень бере участь у реалізації державної політики у сфері гідрометеорологічної діяльності і є головною методичною організацією гідрометеорологічної служби з питань прогнозування гідрометеорологічних умов, гідрометеорологічного забезпечення і обслуговування, проведення агрометеорологічних спостережень і робіт, збору, обробки та розповсюдження гідрометеорологічної інформації. УкрГМЦ є юридичною особою, неприбутковою організацією, має самостійний баланс, реєстраційні рахунки в органах Державного казначейства, печатку із зображенням Державного герба України і своїм найменуванням.

**Головні завдання та напрямки роботи УкрГМЦ:**

- прогнозування умов погоди, гідрологічного режиму річок та водосховищ, агрометеорологічних умов вегетації сільськогосподарських культур та формування їх врожайності, метеорологічних умов забруднення повітря;
- забезпечення органів державної влади, місцевого самоврядування, галузей економіки, населення, Збройних Сил України, інших споживачів інформацією загального користування про гідрометеорологічні умови та метеорологічні умови забруднення повітря, прогнозами і попередженнями про небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища, різкі зміни погоди;

- гідрометеорологічне обслуговування споживачів усіх рівнів спеціалізованою інформацією та продукцією;
- методичне керівництво організаціями гідрометеорологічної служби з питань прогнозування метеорологічних, гідрологічних, агрометеорологічних умов, метеорологічних умов забруднення атмосферного повітря, гідрометеорологічного забезпечення і обслуговування споживачів різного рівня, агрометеорологічних спостережень і робіт;
- здійснення збору, обробки та передачі гідрометеорологічної інформації, формування баз та банків гідрометеорологічних даних;
- виконання обов'язків оперативного підрозділу гідрометслужби в рамках угод між ВМО та МАГАТЕ по моделюванню процесів переносу забруднюючих речовин при ядерних та інших екологічних аваріях, участь у тренуваннях, забезпечення необхідної оперативної взаємодії зі спеціалізованими регіональними центрами ВМО з цих питань;
- здійснення зовнішньо - економічної діяльності в частині закупівлі телекомунікаційних засобів, засобів обробки, візуалізації гідрометінформації, систем управління базами даних, засобів вимірювальної техніки, обладнання, витратних матеріалів тощо.

#### **УкрГМЦ взаємодіє з організаціями гідрометеорологічної служби:**

- Центральною геофізичною обсерваторією – з питань проведення гідрометеорологічних спостережень, автоматизованої обробки оперативних і режимних матеріалів спостережень, підготовки відповідної продукції на магнітних і паперових носіях, підготовки матеріалів для їх зберігання і використання в Галузевому державному архіві гідрометеорологічної служби;
- Регіональними та обласними центрами з гідрометеорології, гідрометобсерваторіями, бюро, станціями – з питань прогнозування гідрометеорологічних умов і явищ; проведення агрометеорологічних спостережень та агрометзабезпечення; складання і доведення метеорологічних, гідрологічних, агрометеорологічних прогнозів, прогнозів метеоумов забруднення повітря, штормових попереджень про небезпечні та стихійні метеорологічні, гідрологічні, агрометеорологічні явища, різкі зміни погоди; збору та передачі гідрометеорологічної інформації, автоматизованої обробки та занесення гідрометінформації на технічні носії, методичних питань гідрометеорологічного забезпечення і обслуговування тощо;
- Гідрометцентром Чорного та Азовського морів – з питань прогнозування стану погоди і моря, морських гідрометеорологічних явищ на акваторіях Азово-Чорноморського басейну, методичних питань морського гідрометзабезпечення;
- Державним підприємством "Український авіаметеорологічний центр" – з питань метеорологічного забезпечення і обслуговування авіації, авіаційних, кулепілотних та радіолокаційних спостережень;



- Українським науково-дослідним гідрометеорологічним інститутом – з наукових і науково-методичних питань та участі в науково-дослідних, науково-методичних роботах;
- з іншими методичними, технічними і регіональними організаціями - з питань, віднесених до його компетенції.

При загрозі та виникненні небезпечних і стихійних гідрометеорологічних явищ Український Гідрометцентр взаємодіє з ЦГМ, іншими центрами і організаціями гідрометслужби України та сусідніх держав, що розташовані в зоні розповсюдження цих явищ, стосовно прогнозування їх розвитку, визначення зони впливу та взаємного оповіщення і попередження.

Укр ГМЦ під час виконання покладених на нього завдань і функцій в межах своєї компетенції взаємодіє з відповідними підрозділами МНС, Мінприроди України та його підрозділами з питань гідрометзабезпечення у випадку загрози або виникнення стихійних лих, техногенних аварій і катастроф.

Прогноз погоди, гідрологічного режиму річок та водосховищ, стану та врожайності сільськогосподарських культур, метеоумов забруднення повітря є необхідним оперативним матеріалом для керівників і спеціалістів усіх галузей економіки, органів державного управління. Інформування населення України про стан погодних умов на найближчі дні і попередження про несприятливі явища вже стало об'єктивною потребою кожної людини.

Своєчасні попередження про стихійні лиха зберігають найдорожче – людське життя. У цілому за рік Українським гідрометцентром складається і доводиться органам державної виконавчої влади різних рівнів, міністерствам, відомствам, держадміністраціям, комісіям з НС та іншим споживачам, 250 щоденних гідрометеорологічних бюлетенів, 36 декадних агрометеорологічних та бюлетень за сільськогосподарський рік, близько 40000 метеорологічних прогнозів загального користування та понад 60000 спеціалізованих метеорологічних прогнозів, 2570 гідрологічних та агрометеорологічних прогнозів, 1500 прогнозів метеорологічних умов забруднення атмосфери, 45 прогнозів рівнів забруднення повітря промисловими викидами, понад 800 штормових попереджень та більше 200 оперативних інформацій про загрозу та виникнення несприятливих умов, небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ.

### **1.3 Класифікація споживачів гідрометеорологічної інформації. Галузева спрямованість гідрометеорологічного забезпечення**

Практично всі галузі економіки вже усвідомили господарську доцільність використання різних відомостей про зміни метеорологічних умов.

Обізнаність споживачів про вигоду застосування метеорологічної інформації залишається недостатньою. Деякі споживачі не можуть самостійно

визначити необхідний вид інформації та її достатній обсяг, вибрати оптимальний спосіб її використання, а тому несуть втрати, яких можна було б уникнути.

Прийняті в господарській практиці рішення носять двоякий зміст. Одні, спрямовані на досягнення господарських цілей, не пов'язані з погодними умовами (це чисто господарські рішення), інші вже безпосередньо пов'язані з урахуванням метеорологічних факторів. Споживачеві метеорологічної інформації важливо не тільки заздалегідь і вчасно вжити заходів захисту відповідно до попередженням про небезпечний гідрометеорологічному явище, а й постійно і ефективно вести господарські заходи з урахуванням очікуваної погоди в безперервному режимі. Такі оперативні рішення споживача називаються погода-господарськими.

### **1.3.1. Гідрометеорологічне забезпечення галузей господарства України**

Значна роль в господарстві відводиться прогнозами погоди. Метеорологічна інформація та прогнози погоди особливо отримують все більше диференційоване використання в залежності від конкретних технічних, виробничих чи інших господарських завдань. При створенні механізмів і машин різного призначення враховуються стандартизовані кліматичні характеристики району їх експлуатації, що дозволяє вибрати економічно вигідне технологічне рішення.

Як упереджувальна метеорологічна інформація, прогнози погоди для різних галузей виробництва складаються з урахуванням специфіки цього виробництва, його просторових і часових масштабів. Цим обумовлена і різна оцінка економічної корисності прогнозів для різних галузей виробництва.

**Галузь народного господарства (господарча галузь)** структурно є сукупністю виробничих одиниць у масштабі країни, що взаємодіють одна з одною, а також з підприємствами інших галузей.

**Виробничий процес** – це процес функціонування виробничої одиниці та її взаємодії з іншими одиницями. Він містить певну множину виробничих операцій.

Розрізняють оперативну та нормативну форми гідрометеорологічного забезпечення. Особливий розвиток останнім часом приділяється ще однією формою метеорологічного забезпечення – активні впливи на атмосферні процеси.

**Оперативне гідрометеорологічне забезпечення** є сукупність робіт, спрямованих на повсякденне забезпечення метеорологічними даними та насамперед прогнозами погоди господарчих організацій. Воно здійснюється оперативними підрозділами служби погоди. До них відносяться: відділи короткострокових та довгострокових прогнозів Держгідромету, територіальні бюро погоди (БП), авіаметеорологічні станції (АМСГ), гідрометеорологічні бюро (ГМБ), гідрометеорологічні обсерваторії (ГМО) та гідрометеорологічні станції (ГМС). В окремих випадках, наприклад, при будівництві великих

гідротехнічних споруджень або експлуатації найбільше глибоких кар'єрів, організують спеціальні метеорологічні станції. На суднах рибальського флоту постійне гідрометеорологічне забезпечення на морях та океанах ведуть синоптичні групи.

**Нормативне гідрометеорологічне забезпечення** полягає у визначенні та впровадженні в практику кліматичних характеристик самого різноманітного призначення. Отримані кліматичні норми, ймовірнісні та спектральні розподіли значень метеорологічних величин, їх комплексів або явищ погоди є квазісталіми стандартами. Вони застосовуються в перспективному плануванні, у промисловому та житловому будівництві, в інженерних розрахунках і т.п. Основною метою використання нормативних даних є побудова об'єкту, з одного боку, більш довговічним, тобто найменш залежним від погодних умов, а з іншого боку – із найменшою витратою коштів.

Опрацюванням нормативних даних стосовно до різноманітних народногосподарських задач займаються переважно науково-дослідні інститути.

Метеорологічне забезпечення деяких галузей народного господарства з притягненням активних впливів на атмосферні процеси носить епізодичний характер і далеко не повсюдне, проте економічний ефект від такої форми забезпечення дуже великий. Найбільші успіхи досягнуті в запобіганні градобоїв.

Форми гідрометеорологічного забезпечення постійно удосконалюються та залежать від рівня наукових знань про атмосферу, від науково-технічного прогресу та практичних запитів, що постійно зростають.

Окремі народногосподарські об'єкти створюються та розташовуються згідно до їх соціальної й економічної необхідності. Підприємства металургійної, паливної та видобувних галузей засновуються в безпосередній близькості до джерел сировини. Великі промислові підприємства, що обслуговуються великим штатом робітників, проте, рідко розташовуються поблизу центрів крупних міст внаслідок екологічної та загальної небезпеки, яку вони представляють для населення. Об'єкти та вузли транспортної системи, річкові та морські порти плануються виходячи з соціально-економічної інфраструктури й особливостей орографії регіону. Таким чином, в основі розміщення елементів соціально-економічної структури полягає раціональне використання природного середовища.

Будь-яка галузь народного господарства в процесі функціонування так чи інакше піддається впливу природного середовища. Гідрометеорологічні чинники, впливаючи на окремі елементи й об'єкти виробничого процесу, призводять до його зміни. З економічної точки зору це виражається в зміні фінансово-економічної схеми функціонування виробничого комплексу.

Вплив гідрометеорологічних умов на соціально-економічні об'єкти може бути прямим або непрямим.

**Прямий вплив** гідрометеорологічних умов на галузь господарства виявляється тоді, коли процес виконання основних виробничих операцій безпосередньо залежить від цих умов. У цьому випадку ГМУ стають одним з елементів виробничого процесу.

Галузями народного господарства, на які гідрометеорологічні умови впливають переважно прямим шляхом, є транспорт (особливо авіація, морський та річковий флот) і сільське господарство.

**Непрямий вплив** гідрометеорологічних умов має місце тоді, коли виробничий процес поставлений у залежність від окремих побічних виробничих операцій, що безпосередньо залежать від гідрометеорологічних умов.

Наприклад, виробничий процес у корпусах заводів безпосередньо від умов погоди не залежить. Проте він залежить від постачання енергією та водою, від роботи елементів транспортної системи, що в значній мірі визначається впливом гідрометеорологічних умов.

За тривалістю впливу гідрометеорологічних умов підрозділяються на **постійні та тимчасові**. Як правило, прямий вплив гідрометеорологічних умов є також постійним. Наприклад, більшість виробничих операцій на транспорті, у сільському господарстві, у будівництві знаходяться під постійним впливом гідрометеорологічних чинників. Прикладами операцій, що відчують тимчасовий вплив, є вантажно-розвантажувальні роботи.

За характером впливу гідрометеорологічних умов на працюючий виробничий об'єкт умовно можна розділити на дві нерівні групи. *Першу групу* складають ті гідрометеорологічні чинники, що є елементами виробничого процесу. Наприклад, відомості про стан атмосфери є основними для роботи авіації, вітроенергетики, природоохоронних заходів.

Функціонування будь-якої виробничої одиниці (галузі, підприємства, населеного пункту і т.д.) розраховано на певний стандартний діапазон гідрометеорологічних умов. Таким чином, при створенні цієї одиниці та при її функціонуванні використовується інформація кліматологічного характеру, що полягає в основі проектно-технічних характеристик, технологічних схем і режиму роботи і т.д.

До *другої групи* гідрометеорологічних умов відносяться непередбачені чинники, тобто ті явища або градації метеорологічних величин, що в нормальних умовах не впливають прямо, але при визначеній інтенсивності або значенні перевищують поріг чутливості споживача. Наприклад, кількість опадів прямо не впливає на роботу заводського цеху, проте їх надмірна кількість може викликати повінь, що приведе до припинення роботи цеху.

За винятком випадків застосування енергії вітру та води *вплив гідрометеорологічних умов є витратним*. Це означає, що результат їх впливу на виробничий процес приводить переважно до *додаткових витрат*, або **втрат**. Отже, вплив ГМУ розглядається звичайно в аспекті тих матеріально-грошових втрат, що виникають у процесі реагування виробничого процесу на ці умови (або їх ігнорування). Назвемо **втратами** грошовий еквівалент

результату реакції споживача, що приводить до ускладнень функціонування виробничої одиниці стосовно проектного режиму.

У випадках, коли реакція споживача або виробничої одиниці на зміну гідрометеорологічних умов є неадекватною (наприклад, при незважені на прогнози погоди), споживач може понести матеріальний **збиток**, що також виражається у вигляді втрат.

Вплив обох груп гідрометеорологічних умов так чи інакше призведе до певних втрат. Проте, перша група гідрометеорологічних умов веде до якихось «запланованих» втрат (Cost), варіації яких залежать від помилок прогнозів та дій користувача в очікуваних межах. ГМУ другої групи можуть мати своїм наслідком часткове або повне порушення виробничого циклу, що приводить до втрат у формі збитку (Loss).

Зі сказаного зрозуміло, що поняття збитку пов'язане з екстремальними градаціями інтенсивності явищ або значень метеорологічних величин. Збиток має місце тоді, коли виробничий цикл порушується непередбаченим чином внаслідок фаз погоди, що рідко спостерігаються, або недостатньої точності прогнозу та відсутності адекватної реакції споживача, що призводить до необхідності у відновленні (а не зміні) виробничого процесу та найчастіше також основних виробничих фондів.

## **1.4 Міжнародні аспекти гідрометеорологічного забезпечення. Сучасні напрямки розвитку. Міжнародні програми дослідження атмосфери та океану. Служби погоди в різних країнах**

### **1.4.1 Всесвітня метеорологічна організація**

Метеорологічні спостереження ведуться у всіх країнах світу. Атмосферні процеси, які розвиваються в величезних масштабах, не обмежуються рамками державних кордонів. Тому необхідна узгодженість роботи метеорологічних служб всього світу, що забезпечило б єдність методики спостережень і їх обробки, обмін інформації, уніфікації форм оперативного обслуговування метеорологічною інформацією і прогнозами.

З цією метою на першому Метеорологічному конгресі (1873 р.) в Брюсселі була створена Міжнародна метеорологічна організація (ММО), яка після другої світової війни (в 1950 р.) отримала нову назву – "Всесвітня метеорологічна організація" (ВМО/ВМО) і стала одним із спеціалізованих агентств Організації Об'єднаних Націй.

Основне завдання якого –

- сприяти міжнародному співробітництву в розвитку гідрометеорологічної сітки;
- проведенню метеорологічних спостережень;
- швидкому обміну метеорологічною інформацією;
- стандартизації метеорологічних приладів;

- методів обробки і аналізу результатів спостережень;
- форм метеорологічного забезпечення галузей народного господарства.

ВМО – міжурядова міжнародна організація, членами якої є біля 196 держав і 5 територій. ВМО має 6 регіональних асоціацій, які складаються із членів ВМО, відповідних географічних районів: 1. Африки; 2. Азії; 3. Південної Америки; 4 Північної Америки; 5. Південного заходу Тихого океану; 6. Європи. Шість регіональних асоціацій координують діяльність членів у межах своїх географічних районів. Конституційним органом ВМО є Всесвітній метеорологічний конгрес, який скликається раз в чотири роки. Конгрес вибирає виконавчий комітет, який складається із 29 керівників національних метеорологічних служб. Виконком ВМО вибирає президента і трьох віце-президентів організацій та керує виконанням програм, що визначаються конгресом.

Починаючи з її утворення, ВМО грала унікальну й потужну роль у розвитку добробуту людства. Під лідерством ВМО та в межах її структури, національна метеорологічна та гідрологічна діяльність сприяли зміцненню захисту від стихійних лих, охороні навколишнього середовища та збільшенню ступеня економічного й соціального добробуту всіх секторів товариства в галузях безпеки, продовольчого постачання, водяних ресурсів і транспорту. Її унікальна роль у системі ООН – вільний та необмежений обмін даними та інформацією, результатами й послугами в реальному (або майже реальному) часі.

ВМО грає провідну роль у міжнародних зусиллях по контролю та захисту навколишнього середовища, реалізуючи свої програми:

- Програма Прикладної Метеорології
- Програма Дослідження Атмосфери та Навколишнього Середовища (AREP)
- Програма Освіти й Навчання (ETR)
- Програма Гідрології та Водяних Ресурсів (ПГВР/HWRP)
- Регіональна Програма (RP)
- Програма Технічного Співробітництва (ТСО)
- Світова Кліматична Програма (СКП/WCP)
- Космічна Програма
- Всесвітня Служба Погоди (ВСП/WWW)

**Мета Програми Прикладної Метеорології** складається в полегшенні розроблення метеорологічних додатків в усіх країнах для досягнення національних соціальних, економічних та культурних цілей та стійкого розвитку. Вона складається з чотирьох складових дій:

- суспільна програма метеорологічних служб;
- програма сільськогосподарської метеорології;
- аеронавігаційна метеорологічна програма;
- морська метеорологія та пов'язана з нею океанографічна програма.

## **Головні напрямки Програми Дослідження Атмосфери та Навколишнього Середовища:**

- Програма Глобальних Атмосферних Спостережень (GAW);
- Світова Програма Дослідження погоди;
- Тропічна Програма Метеорологічних Досліджень;
- Фізика хмар та програми дослідження змін погоди.

**Гідрологія та Програма Водяних Ресурсів (ПГВР/HWRP)** Дії програми концентруються на спостереженні основних гідрологічних елементів від мереж гідрологічних і метеорологічних станцій; зборі, обробці, збереженні, виправленні та публікації гідрологічних даних, у тому числі даних щодо кількості й якості поверхневих та підземних вод, для використання в плануванні та операційних проектах водяних ресурсів, розробленні та впровадженні гідрологічних прогнозів.

**Світова Кліматична Програма (СКП/WCP)** - авторитетна міжнародна наукова програма, цілі якої – поліпшити розуміння системи клімату та застосовувати це розуміння для вигоди товариства, що бореться з мінливістю клімату. СКП/WCP була організована після Першої Світової Конференції по клімату в Женеві в лютому 1979 р. Головними організаціями СКП/WCP на міжнародному рівні є Всесвітня метеорологічна організація (ВМО), Програма Навколишнього Середовища Організації Об'єднаних Націй (UNEP), Міжурядова Океанографічна Комісія ЮНЕСКО та Міжнародна Рада з Науки (ICSU).

СКП/WCP має чотири компоненти:

- **Програма Опрацювання Кліматичних Даних та Контроль Світового Клімату (WCDMP)** – збір та обробка кліматичних даних і контроль глобальної системи клімату, включаючи виявлення та оцінювання мінливості клімату;

- **Світова Кліматична Програма Додатків і Послуг (WCASP)** сприяє ефективному втіленню знань про клімат та інформацію для товариства та кліматичних служб, прогнозів варіацій клімату, у тому числі й у результаті діяльності людини;

- **Програма Оцінювання Впливу Світового Клімату та Стратегій Реакції (WCIRP)** - оцінювання впливу мінливості клімату, що могла помітно впливати на економічні або соціальні аспекти життєдіяльності, розробка рекомендацій урядам, розвиток соціально-економічних стратегій, що могли б бути використаними урядами та міжнародною спільнотою.

- **Програма Дослідження Світового Клімату (WCRP)** – покращує розуміння клімату для того, щоб визначити ступінь передбачуваності його мінливості, антропогенного впливу на клімат та можливості прогнозування клімату.

Світова Кліматична Програма (СКП/WCP) та Глобальна Система Спостереження Клімату (ГССК/GCOS) – це дві провідні міжнародні програми ВМО.

**Головною метою Космічної Програми ВМО (КПВМО/WMOSA) є**

координування рішень екологічних проблем та іншої діяльності в програмах ВМО супутниковими методами, керування програмами ВМО при використанні потенціалу методів дистанційного обстеження в метеорології, гідрології та пов'язаних з ними дисциплін.

#### 1.4.2 Всесвітня служба погоди

Метеорологічне забезпечення необхідне для безпеки життя й здоров'я, захисту навколишнього середовища та ефективного функціонування широкого кола дій, чутливих до стану погоди. Центральною умовою є одержання даних спостережень, досліджень та прогнозів. **Всесвітня Служба Погоди (ВСП/WWW)** – це міжнародна програма, що вживає заходів по збору та розподілу ГМІ в реальному масштабі часу, у всесвітньому масштабі відповідно до інших програм ВМО та програм інших міжнародних організацій.

ВСП/WWW, ядро програм ВМО, об'єднує системи спостереження, засоби обслуговування телезв'язку та обробки даних і прогнозування, роблячи метеорологічну інформацію доступною для ефективного ГМЗ у всіх країнах.

ВСП/WWW координує метеорологічну діяльність членів ВМО та стандартизує вимірні методи й прилади, процедури телекомунікації (телезв'язку), а також представлення даних спостережень та їх обробки даних засобами, що можуть бути зрозумілі та використані всіма учасниками програми. Ці дії, як і продукти ВСП/WWW, перевіряються та затверджуються ВМО до застосування, що робить усю інформацію від кожної країни доступною всім членам ВМО для забезпечення їх метеорологічних служб на щоденній основі та для довгострокового планування й досліджень.

Велику важливість набуває та частина програми ВСП/WWW, що пов'язана з міжнародними програмами в галузі вивчення глобального клімату та інших проблем стану навколишнього середовища. Задачі

- Забезпечити всесвітню систему збору, обробки та швидкодіючого обміну метеорологічними й іншими даними про стан навколишнього середовища, аналізів та прогнозів.

- Забезпечувати доступ до даних спостережень та досліджень, прогнозів та інших результатам у реальному масштабі часу та по запиті для задоволення потреб усіх членів ВМО, інших програм ВМО та програм міжнародних організацій.

- Вживати заходів до запровадження стандартних методів аналізу води та стічних вод і технології, що дозволяють членам ВМО щонайкраще використовувати ВСП/WWW та гарантувати адекватний рівень послуг і сумісність систем для співробітництва з агентствами поза ВМО.

- Забезпечити основну інфраструктуру для ГССК/GCOS та інших міжнародних програм ВМО по контролю клімату й вивченню проблем



клімату.

ВСП/WWW функціонує на **глобальному, регіональному та національному рівнях**. Проект ВСП/WWW передбачає реалізацію та подальший розвиток трьох тісно пов'язаних та все більш інтегрованих основних елементів:

- Глобальна Система Спостережень (ГСС/GOS), що складається з засобів обслуговування та виробництва спостереження на станціях на землі та в морі, на літаках, метеорологічних та екологічних супутниках та інших платформах, призначених для одержання даних спостережень;

- Глобальна Система Телезв'язку (ГСТ/GTS), що складається з автоматизованої мережі засобів обслуговування телезв'язку для швидкісного й надійного збору та розподілу даних спостережень та оброблених результатів;

- Глобальна Система Обробки Даних (ГСОД/GDPS), що складається зі Світових, Регіональних Спеціалізованих та Національних Метеорологічних Центрив, призначена для обробки даних, аналізу й прогнозу погоди.

Реалізація й інтеграція трьох основних складових підтримується за допомогою:

- 1) Обробки Погодних Даних (WDM), що використовує стандарти та методи для ефективної обробки потоку даних та результатів у рамках ВСП/WWW;

- 2) Дій Підтримки Системи (SSA), що забезпечують керівництво, допомогу та навчання учасників програми.

З урахуванням географічного становища та технічних можливостей, глобальна система ВСП/WWW передбачає розподіл території Землі на шість Регіонів ВМО, у кожному з яких побудована ієрархічна схема одержання, обробки та передачі даних спостережень і результатів. Україна потрапляє в Регіон № 6.

## 2. ОЦІНКА УСПІШНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗОВ

### 2.1 Загальні умови оцінки прогнозів погоди

Спеціалізоване забезпечення споживачів неможливо без оцінки якості прогностичної інформації, яке визначається успішністю прогнозів.

Розробка більш точних прогнозів і оцінка їх успішності – одна з фундаментальних завдань сучасної метеорології. Успішність прогнозів є необхідною умовою довіри до них споживачів. Хоча успіх прогнозування ще не означає економічну корисність прогнозів, однак є її найважливішим фактором.

Стосовно до метеорологічних прогнозів поняття "точність" носить двоякий характер. З одного боку, порівняння прогнозованої і фактичної метеорологічної величини відображає ступінь адекватності (схожості) прогнозу і факту, а з іншого – порівняння метеорологічної величини, даної з методичного і інерційному прогнозом, з фактичним значенням відображає міру успіху теоретичного обґрунтування методичного прогнозу.

Все це говорить про те, що чіткіше говорити не стільки про точність метеорологічних прогнозів, скільки про їх успішність. Ступінь адекватності прогнозу і факту і характеризує в першому наближенні успішність методичних прогнозів.

Найважливішим показником якості прогнозів є їх інформативність. Тим самим встановлюється змістовність прогнозів. Як показники інформативності використовуються параметри, відомі в теорії інформації: кількість прогностичної інформації  $J$  та інформаційне відношення  $v$ . Інформативність прогнозів тим вище, чим більше "дроблення" прогнозованої погоди на окремі фази, тобто це означає дискретність подання очікуваної погоди, хоча невизначеність прогнозування окремої фази зростає. Поряд з цим інформативність методичного прогнозу у вигляді показників  $J$  і  $v$  характеризує міру зниження невизначеності кліматологічного прогнозу.

Оцінка успішності метеорологічних прогнозів (погоди, метеорологічних величин, явищ погоди) призначена для вирішення широкого кола наукових і практичних завдань. Знання поточної успішності прогнозів та її динаміки дозволяють удосконалювати відомі методи прогнозування і розробляти нові.

Оцінка успішності прогнозів погоди дозволяє встановити наступні важливі властивості прогнозу.

- Умови, при яких даний метод має найкращі результати і при яких помилки прогнозування найбільш великі. Тут дуже важливо вивчити помилки прогнозів при тих синоптичних умовах, що викликають значні збитки в ряді галузей господарства.

- Напрямок подальших досліджень із метою вдосконалення методу прогнозування.

- Ефективність роботи прогнозіста (оперативно-прогностичної установи, бюро погоди і т. п.).

Успішність прогнозів погоди може оцінюватися:

- за оцінкою тих метеорологічних величин і явищ, що містить прогноз, у залежності від особливостей атмосферної циркуляції та синоптичного стану;

- за оцінкою помилок прогнозу синоптичного стану: еволюції та руху атмосферних об'єктів, що утворюють погоду, (повітряних мас, атмосферних фронтів, баричних систем);

- за оцінкою здібності методу прогнозування для конкретного географічного району з урахуванням його регіональних особливостей (характер і форма підстильної поверхні, радіаційний режим тощо).

Відзначимо, що сама задача районування є досить складною. Проте її доводиться вирішувати, тому що завжди необхідно враховувати вплив фізико-географічних чинників на розвиток атмосферних процесів, що може спричинити необхідність доробки методу або встановлення лімітів його застосовності. Справджування прогнозів залежить від сезону. Це можна встановити за наявністю досить довгого ряду даних.

Аналіз умов успішності прогнозів погоди необхідний для виявлення причин помилок прогнозів та пошуку шляхів удосконалення методів.

У гідрометеорології визначені наступні **основні цілі оцінки прогнозів**.

**Адміністративна (виробнича) мета.** Гідрометеорологічна служба повинна неупинно оцінювати якість прогнозів, щоб дати господарчим органам характеристику своєї діяльності. Основна адміністративна мета складається у визначенні тенденцій розвитку, створення або заміни прогностичних методів новими, і багатьма іншими рішеннями щодо оптимального розгортання людських і матеріальних ресурсів у гідрометеорологічній службі. Окрім виправдання вартості служби, адміністративний вплив також означає підтримку розвитку служби, зокрема, закупівлю устаткування, комп'ютерів, систем спостереження. Адміністративна функція оцінки прогнозів складається також у контролі якості прогнозів та забезпеченні належних змін у методах прогнозування.

**Наукова мета** складається у визначенні сильних та слабких сторін прогнозу в належній ступені деталізації для вдосконалення прогностичної методики, тобто в забезпеченні необхідної інформації для того, щоб наукові дослідження рухалися в потрібному напрямку.

В оперативній практиці навіть зараз ігнорується економічна ефективність оцінки успішності прогнозів. Цей аспект потребує інформації щодо економіки дій, проведених у відповідь на прогноз, що в значній мірі залежить від економічних характеристик споживача. Замість цього велику

увагу приділяють властивостям прогнозу з погляду їх автора, прогнозиста. Проте в багатьох країнах адміністративне керування поступово займає позицію, що здійснює бюджетне фінансування лише на основному рівні забезпечення. Спеціалізовані прогнози, їх створення, використання та верифікація залишається за споживачем. Оцінка успішності прогнозів, таким чином, стає невід'ємним етапом роботи оперативно-прогностичного підрозділу, та від того, наскільки глибоко й всебічно вона проведена, часто залежить саме функціонування даної установи.

Якщо мета оцінки успішності прогнозів встановлена, вибірка може бути розподілена. **Групування (розподіл) даних** означає розподіл вибірки на дві або кілька груп відповідно до деякого правила вибору, із наступною оцінкою прогнозів по кожній групі окремо. **Зовнішнє групування (розподіл)** – це групування за правилами вибору, незалежними від елемента, що перевіряється. Звичайним прикладом зовнішнього підрозділу є групування даних за часом дня або за сезонами. Наприклад, прогнози опадів звичайно більш точні взимку, ніж літом, тому що літом важко передбачити мінливість масштабу конвективних опадів. Зовнішній підрозділ може бути виконаний у будь-який час перед обчисленням конкретних статистик.

Наукові цілі оцінки успішності прогнозів погоди потребують подальшого групування вибірки. Наприклад, для штормових попереджень вибірка повинна бути розподілена так, щоб відокремити звичайні умови від штормових. Цей тип підрозділу можна назвати **внутрішнім групуванням (розподілом)**, тому що в цьому випадку правила класифікації визначені відповідно до мети оцінки прогнозів погоди та в залежності від властивостей елемента, що перевіряється.

Існує два засоби зробити внутрішнє групування.

Розподіл за спостереженнями означає, що категорії (фази), по яких здійснюється групування даних, визначаються згідно зі значеннями елемента погоди, що спостерігається. Тоді міри можуть бути розраховані для кожної категорії спостережень  $\Phi_i$ , а такі статистичні дані будуть обумовлені спостереженнями.

Розподіл за прогнозами означає, що категорії (фази), по яких створюється групування даних, визначаються відповідно до прогнозованих значень елемента погоди. Аналогічно, статистичні дані, розраховані для цих категорій, будуть обумовлені прогностичними фазами погоди  $\Pi_i$ .

Мета оцінки успішності прогнозів погоди визначає тип підрозділу. Найчастіше потрібне групування обох типів, щоб досягти повноти аналізу. Деякі міри потребують визначеного типу розподілу.

Виробнича (адміністративна) оцінка успішності прогнозів погоди, з іншого боку, приділяє меншу увагу практичним сторонам задачі. Адміністративні питання мають більш загальний характер та в основному пропонують підбивати інформацію деяким засобом. Таким чином,

внутрішній розподіл також може бути проведений, але це рідко знаходиться в компетенції виконавця. Головна мета адміністративної верифікації складається в лаконічному формулюванні якості результату, або в можливості порівняти методи та визначити тенденції.

Іноді принцип інтегрування всієї інформації щодо прогнозу буває доведений до скрути. Були здійснені неодноразові спроби висловити якість прогнозів одним числом, що «підсумовує» якість усіх прогнозів. Ці спроби здійснюють величезний тиск на систему верифікації, яка в цьому випадку повинна гарантувати, що: а) обраний показник є надійною мірою якості; б) усі складові явища або величини були адекватно враховані в композиції цього показника. Загальна помилка підсумкової верифікації полягає в тому, що всі природні події розглядаються однаковими і рівноправними у складі погодного процесу. Це робиться для зручності (просте середнє число легко обчислити), але також і тому, що важко знайти вагову схему, що точно й об'єктивно відбиває ступінь впливу складового явища, до того ж відповідно до призначеної мети верифікації, не входячи в протиріччя з іншими бажаними ознаками міри прогнозу. Визначення ваги складової події в підсумкових мірах у даний час є одна з нерозв'язаних проблем верифікації.

Підсумкові міри оцінки успішності прогнозів інтенсивно розроблялися в минулому. Спеціалісти дотепер намагаються розробляти та використовувати їх, щоб відповісти на певні наукові питання. Проте, підсумкова природа цих мір обмежує їх використання в наукових цілях через змішання інформації про різні фізичні умови. Інакше кажучи, у побудові підсумкових мір не запроваджується належне групування даних. Підсумкова міра, наприклад, не може сказати, наскільки вдало прогнозуються внутрішньомасові опади в порівнянні з фронтальними опадами; найкраще, що можна сказати за допомогою підсумкової міри, це наскільки прогноз опадів є гарним взагалі. Також не можна сказати, за яких умов регіональна модель кінцевих елементів більш вдалий, ніж спектральна модель; можна тільки сказати, що перша трохи краще або трохи гірше, ніж спектральна модель «у середньому».

## **2.2. Призначення оцінки успішності прогнозів погоди. Вимоги, що пред'являються до оцінки успішності прогнозів**

Припустимі відхилення прогнозу від погоди, що фактично спостерігається, установлюються на підставі багаторічного досвіду роботи служби прогнозів разом із різноманітними споживачами з урахуванням природної мінливості метеорологічних величин і явищ погоди в

різноманітних фізико-географічних умовах. Вони регулюються відповідними документами.

Розглянемо загальні принципи оцінювання прогнозів.

Прийнемо, що  $\Phi_i$  – фактична погода за період прогнозування, а  $\Pi_j$  – прогнозована погода (значення метеорологічних величин, характеристика явищ).

Умова

$$\Phi_i - \Pi_j = 0, \quad (2.1)$$

відповідає ідеальному прогнозу.

Проте, в силу природної недосконалості методів прогнозів сучасні прогнози далеко не ідеальні і по своїй природі мають імовірнісний характер здійснення. З цієї причини рівність (2.1) виконується рідко.

Як правило, прогноз погоди в тієї чи іншої мірі не відповідає фактичній погоді, тобто

$$\Phi_i - \Pi_j = \Delta(\Phi_i; \Pi_j), \quad (2.2)$$

де  $\Delta(\Phi_i; \Pi_j)$  – помилка прогнозу. Можна заздалегідь прийняти:

$$\Delta(\Phi_i; \Pi_j) = \Delta(\Phi_i; \Pi_j)_{np}, \quad (2.3)$$

де  $\Delta(\Phi_i; \Pi_j)_{np}$  – припустима помилка, величина якої визначається багаторічним досвідом служби прогнозів, її можливостями з урахуванням вимог конкретного споживача.

Тоді, якщо:

$$\Delta(\Phi_i; \Pi_j) \leq \Delta(\Phi_i; \Pi_j)_{np}, \quad (2.4)$$

то прогноз вважається таким, що справдився, і якщо:

$$\Delta(\Phi_i; \Pi_j) > \Delta(\Phi_i; \Pi_j)_{np}, \quad (2.5)$$

– що не справдився.

Кожна метеорологічна величина та кожне явище в прогнозі потребує незалежної оцінки справджування. У оперативній синоптичній практиці одиничний прогноз оцінюється в цілому (у відсотках) за результатами оцінки окремих його складових.

Оцінка успішності прогнозів погоди передбачає два робочих етапу. На першому етапі відбувається збір необхідного матеріалу по конкретних складених оперативних прогнозах. Пропускання випадків (прогнозів) або довільні часткові вибірки не допускаються. Для перевірки методу прогнозування можуть бути використані прогнози, складені по архівних матеріалах. Для цього необхідно мати синоптичний архів високої якості, що містить усі ситуації, в яких цей метод можливо застосувати. Ряд даних для оцінки методу прогнозування повинний бути незалежним від того ряду даних, на підставі якого був розроблений метод прогнозування.

На другому етапі здійснюється розрахунок критеріїв оцінки прогнозів. **Критерій оцінки прогнозу** – це умова, що дозволяє зробити висновок щодо справджування прогнозу. Критерії будуються на підставі **мір якості**, тобто кількісних характеристик визначених властивостей прогнозу (точності, чутливості тощо). Розробка мір прогнозів є актуальною задачею, що має постійно проводитися в оперативних підрозділах гідрометеорологічної служби.

До критеріїв оцінки пред'являються наступні вимоги.

1. Критерій повинен бути об'єктивним, тобто він не повинен залежати від оцінки самого прогнозиста. Стратегія прогнозиста на «середню вдачу» робить прогнози переважно формальними та незастосованими в господарчих задачах.

2. Критерій повинен бути чутливим, щоб розрізняти близькі, але різні прогнози.

3. Критерій повинен бути простим, щоб його можна було використовувати в оперативній практиці.

4. Метод прогнозування повинний бути обґрунтованим, оскільки саме порівняння з ним дозволить установити перевагу одних методів прогнозу щодо інших.

Оцінка успішності прогнозів корисна, якщо вона веде до деякого рішення щодо прогнозу, що перевіряється. Рішення про необхідність модифікації прогностичного методу, так само як і рішення про утримання від яких-небудь подальших дій, підтверджує, що результат є або негативним, або задовільним. Мета оцінки прогнозів повинна бути встановлена раніше, ніж розроблена її система, тому що саме мета має головне практичне значення.

Хоча передбачається, що спостереження є адекватним уявленням дійсності, може мати місце припущення, що спостереження в одній точці є репрезентативним для відповідної області.

### 2.2.1. Параметри якості прогнозу

Система оцінки успішності прогнозів завжди повинна містити обчислення декількох мер, так як ніяка окрема мера не забезпечує повної інформації про якість прогнозу. Ці заходи вибираються таким чином, щоб описати ознака найбільш відповідні цілі оцінки успішності прогнозів.

Всі заходи або критерії подають інформацію в одному або декількох аспектах якості прогнозу, часто званих ознаками прогнозу, що описуються різноманітними мірами оцінки успішності прогнозу:

1) **Точність** – загальний термін, що означає ступінь згоди між погодою, зазначеною в прогнозі, та справжньою погодою за результатами спостережень. Розбіжність між значенням, що спостерігається, та значенням у прогнозі називають помилкою. Чим менша ця розбіжність, тим менша помилка й тим більша точність. У визначенні поняття точності скрутним аспектом є ідея масштабу точності, тобто лімітів застосовності прогнозу. Точність може бути штучно збільшена через велике число «гарних» (легко передбачених) погодних умов.

2) **Успішність**, або відносна точність – це точність методичного прогнозу відповідно до точності прогнозів, зроблених за деякою стандартною процедурою. За звичаєм, стандартними вважають прогнози, що не потребують кваліфікації прогнозиста – кліматологічні, інерційні і випадкові (перераховані в порядку убудання їх складності). Інакше кажучи, стандартний прогноз не містить успішності (хоча характеризується справджуванням та іншими параметрами) та може бути складений винятково на підставі спостережень. **Критерії успішності** – це параметри, що забезпечують засіб урахування об'єктивних аспектів точності прогнозу.

3) **Надійність** еквівалентна **зсуненості** прогнозу відносно істинного значення. Це середня міра узгодженості прогностичного та фактичного значення елемента. Розрізняють безумовну зсуненість (систематичну помилку прогнозу) та умовний зсуненість (в залежності від деяких властивостей прогнозу та/або вибірки). Кажучи про поліпшення надійності, звичайно мають на увазі умовну зсуненість. Часто надійність може бути поліпшена інформуванням прогнозиста про зсуненість, що дає можливість виключити її з майбутніх прогнозів.

Надійність має однакову інтепретацію для всіх прогнозів. Проте, надійність прогнозів геофізичних полів може мати трохи різноманітне значення з урахуванням їхніх просторових характеристик. Деяка модель, наприклад, може мати тенденцію зміщати центри низького тиску до півночі на 300 км і завищувати їхню глибину на 8 гПа. У цьому випадку надійність прогнозу тиску по пункту буде визначатися насамперед тим, в якій мірі вдасться виправити зазначене систематичне відхилення



4) **Роздільність** є спроможністю прогнозу до розділення набору типових подій серед множини ситуацій з різними щільностями розподілу. Роздільність тісно пов'язана зі стандартним відхиленням або дисперсією спостережень, розподілених за прогнозами. Роздільність залежить від досвіду та кваліфікації спеціаліста, тому кажуть, що вона є мірою мистецтва прогнозу.

Імовірнісний прогноз має роздільність, якщо, наприклад, частота події, що спостерігається при прогнозі 20%, помітно відрізняється від частоти при прогнозі 70 %. Як і в попередньому прикладі, фактичне значення не обов'язково повинно бути правильним (це питання надійності).

5) **Чутливість**, індивідуальна ознака прогнозів, визначається як спроможність передбачати екстремальні значення. Для імовірнісних прогнозів це тенденція до прогнозу значень 100% або 0%, тобто тенденція до категоричних прогнозів. Чутливість не визначена для категоричних прогнозів, якщо тільки прогноз не є багатофазовим. У обох випадках ця властивість безпосередньо пов'язана з дисперсією розподілу прогностичних характеристик.

Істотна розбіжність між роздільністю та чутливістю складається в тому, що роздільність залежить як від спостережень, так і від прогнозів, тоді як остання залежить тільки від якості прогнозу. Можна одержати прогноз, що є чутливим, але не має роздільності. Наприклад, імовірнісний прогноз типу «дощ/сухо» не є чутливим, маючи тенденцію передбачити тільки 100 та 0 %, але він має роздільність лише тоді, якщо прогнозована частота наявності дощу значно відрізняється від частоти його відсутності.

Проте висока роздільність означає певну чутливість прогнозу, оскільки обидві характеристики застосовуються до опису того самого просторового, фізично взаємозалежного об'єкта, що зумовлює явища (наприклад, у прикладі з прогнозом дощу мова може йти про циклонічну область).

б) **Невизначеність** – це властивість дисперсії фактичних значень, та тому залежить не від прогнозів. Цей термін стосується серій спостережень категоричних змінних, що приймають значення «1», якщо подія відбулася, та «0» у протилежному випадку. Його аналогом для неперервної змінної є статистична дисперсія. Цю властивість звичайно зв'язують із "складністю" серії даних прогнозу. Велика дисперсія припускає великі або більш часті зміни значення елемента, що перевіряється, та в часовому розрізі ці елементи складніше передбачити, ніж більш сталі (інерційні) погодні характеристики. Варіації в невизначеності між наборами даних роблять небезпечним порівняння статистичних параметрів цих вибірок, якщо останні є чутливими до невизначеності. Наприклад, варіації в невизначеності температури в різних місцях роблять неможливим

порівняння прогнозів температури від одного регіону до іншого без компенсації цього чинника.

Співвідношення надійності і роздільності можна продемонструвати такими прикладами прогнозів:

а) низька надійність і низька роздільність – прогнози не мають ніякої кваліфікації (успішності) і найменш точні з усіх (наприклад, випадковий прогноз).

б) висока надійність і низька роздільність – кліматологічний прогноз.

в) низька надійність і висока роздільність, – за прогнозом імовірності 30% факт складає 70%, а за прогнозом 90% – 20%. Такий прогноз має високу роздільність, але прогнозовані значення невірні.

г) висока надійність і висока роздільність – ідеальний прогноз. Інерційний надкороткостроковий прогноз часто має такі властивості.

### 2.2.2 Критерій успішності

Оцінка успішності прогнозів здійснюється за допомогою критеріїв, що будуються на основі мір. Міри якості різноманітних прогнозів часто взаємно відповідні. Наприклад, таблиці спряженості ознак і дисперсійних графіків аналогічні, матриці спряженості застосовуються для категоризованих предиктантів, а дисперсійні графіки – для неперервних. Підсумкові міри також мають еквіваленти: міра Брайера для альтернативного імовірнісного прогнозу та міра рангової ймовірності для багатозафазового прогнозу описують ті ж самі характеристики імовірнісного або категоризованого прогнозу, що середньоквадратична помилка в прогнозах неперервних величин.

Визначають три типи мір: лінійні функції виграшу, квадратичні функції виграшу, та критерії успішності. Квадратичні функції виграшу надають ваги помилкам відповідно до квадрата їх значення. Таким чином, квадратичні функції надають більш високі ваги великим помилкам у вибірці, ніж лінійні, та найбільш корисні, якщо великі помилки більш небезпечні споживачеві, ніж малі.

Критерії успішності призначені для оцінки методичного прогнозу відносно стандартного. **Стандартним** є прогноз, що не потребує кваліфікації прогнозиста та наукових розробок у своїй основі. Звичайно використовуються три стандартних прогнози: **випадковий, інерційний та кліматологічний** (у порядку зростання їх складності). Випадковий прогноз являє собою припущення та не потребує ніякого знання; інерційний прогноз не передбачає ніяких змін погоди та потребує тільки інформації щодо початкових погодних умов; кліматологічний прогноз дає відомості про довгострокову «середню» погоду та потребує відомостей щодо історії погоди.

**Критерії успішності** – це кількісні оцінки успішності як ступеня поліпшення окремих характеристик методичного прогнозу в порівнянні зі стандартними, виражені у формі критеріїв стосовно деяких граничних значень мір оцінки успішності прогнозів погоди.

Узагальнена форма оцінки успішності є універсальною для будь-якої міри верифікації  $a$ :

$$S = \frac{a - a_{cm}}{a_{io} - a_{cm}}, \quad (2.6)$$

де  $a$  – показник (міра) методичного прогнозу,

$a_{cm}$  – показник (міра) стандартного прогнозу,

$a_{io}$  – показник (міра) ідеального прогнозу.

Чисельник цього виразу описує те збільшення успішності, що забезпечує методика прогнозування, одну зі сторін якої описує міра  $a$ . Таким чином, оцінка успішності за параметром  $a$  має зміст пропорції фактичної якості, що описується даним параметром  $a$ , та максимально можливої (ідеальної) якості. Отже, оцінка  $S$  змінюється в межах від 0% до 100%. Порівнюючи фактичні оцінки з їх критеріальними значеннями, що визначаються з досліду, ми одержимо множину критеріїв успішності.

Показники успішності можуть бути побудовані на підставі будь-якої підсумкової міри  $a$ . Найпоширеніші критерії успішності засновані на мірі Брайера (критерій успішності Брайера), на мірі рангової ймовірності, на діагональних компонентах матриці спряженості (критерій Хайдке), та на середній абсолютній помилці. Найбільш часто для порівнянь використовують кліматологічний прогноз. Незалежно від того, на якому показнику (мірі) базується критерій успішності, він завжди визначається одним засобом (2.6).

### 2.2.3. Середня помилка

Якщо в серії з  $N$  прогнозів  $\Pi_i$  позначає  $i$ -й прогноз, а  $\Phi_i$  – відповідний результат спостереження деякої величини, зсув є середнім арифметичним суми різниць прогностичних та фактичних значень:

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Pi_i - \Phi_i). \quad (2.7)$$

Зсув визначає середній напрямок відхилення прогнозу від фактичних значень, але не відбиває величини помилки. Позитивний зсув указує, що в середньому прогностичні значення вище за фактичних. Зсув може бути

виражене як середнє значення за прогнозом мінус середнє фактичне значення по всій вибірці.

Оскільки середнє значення не залежить від порядку розташування даних, можна, наприклад, змінювати один з одним зимові і літні вибірки при аналізі прогнозів максимальної температури при тому, що протягом року зсув не зміниться.

Зсув не є самостійною мірою. Розрахунок зсуву прогнозу відносно фактичних даних супроводжується, як мінімум, розрахунком зсуву кліматологічного прогнозу. Без порівняльного аналізу зсуву різних прогнозів немає можливості визначити, чи є відхилення прогнозу в припустимих межах та чи відбиває воно ті відхилення, що зустрічаються в вибірці.

Статистичні оцінки зсуву повинні використовуватися для корекції прогнозів із обережністю. Необхідно враховувати, що зсув, побудований по деякій вибірці, може виявитися несумісним з іншою вибіркою, тобто повторне виправлення даних може виявитися зрадливим. Було би також помилкою застосувати зсув для корекції прогнозів, що складаються різними спеціалістами. Кожний синоптик у своїх прогнозах робить свій власний зсув, що вносить вклад у повний зсув прогнозу по пункту. Ці зсуви суб'єктивного характеру обумовлені поєднанням специфічних причин із локальними особливостями пункту й тому не можуть бути впевнено ідентифіковані. Проте, зсув може застосовуватися до результатів чисельних моделей. Чисельні моделі розглядають кожний випадок послідовно і незалежно.

Зсув є загальною мірою надійності прогнозу.

#### 2.2.4. Середня абсолютна помилка

Якщо в серії з  $N$  прогнозів,  $\Pi_i$  позначає  $i$ -й прогноз, а  $\Phi_i$  - відповідний результат спостереження деякої величини, то середня абсолютна помилка прогнозу є середнім арифметичним абсолютних значень різниці прогностичного та фактичного значень:

$$\Delta_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Pi_i - \Phi_i|, \quad (2.8)$$

Це лінійна міра, що показує середній модуль помилок, але не свідчить про їх знак (чи занижені або завищені значення за прогнозом).

Середня абсолютна помилка може використовуватися для критерію успішності. Це іноді робиться для неперервних величин, базуючись на лінійних мірах успішності. Ця форма критерію успішності може бути написана в такому вигляді:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i^{cm} - \Phi_i| - \sum_{i=1}^N |P_i - \Phi_i|}{\sum_{i=1}^N |P_i^{cm} - \Phi_i|}. \quad (2.9)$$

де для  $i$ -го випадку прогнозу ( $i=1$  до  $N$ ):

$P_i^{cm}$  – величини за стандартним прогнозом (наприклад, кліматологічним);

$P_i$  – значення за методичним прогнозом;

$\Phi_i$  – значення, що спостерігається.

Кліматологічний прогноз найчастіше використовується як стандартний, але за можливістю також використовуються інші стандартні прогнози.

Щоб мінімізувати середню абсолютну помилку, в розрахунках можна вважати прогностичним медіанне значення, це лише поліпшить міру, але не прогноз.

Середня абсолютна помилка є загальною мірою точності прогнозу.

### 2.2.5. Середня квадратична помилка

Середня квадратична помилка, або середньоквадратичне відхилення (СКВ) ряду з  $N$  прогнозів визначається формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \Phi_i)^2}, \quad (2.10)$$

де  $P_i$  - значення відповідно до методичного прогнозу,  $\Phi_i$  - значення, що спостерігається.

Ця квадратична функція виграшу показує середню величину відхилення, що складене з елементів із вагою, пропорційною квадрату помилки (Прогноз–Факт) у кожному окремому випадку прогнозу. Вона також не визначає знак відхилення. У порівнянні з середньою абсолютною помилкою, СКВ надає в середньому значенні більше ваги великим помилкам. Тому ця міра є більш статистично обгрунтованою, якщо великі помилки особливо небажані. Її чутливість до великих помилок не дає можливості одержати надійні оцінки на коротких вибірках.

Ця міра, разом з іншими квадратичними функціями виграшу, може стимулювати консервативні прогнози (прогнозуються значення поблизу кліматологічного середнього). Якщо екстремальні явища (значення) прогнозують рідко, то частота великих помилок скорочена, що мінімізує значення СКВ.

Середня абсолютна помилка є загальною мірою точності прогнозу.

## 2.2.6. Приведена дисперсія

Приведеною дисперсією називається міра успішності методичного прогнозу щодо стандартного (наприклад, кліматологічного), обумовлена як їх відносна середня помилка:

$$\sigma_v = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\Pi_i - \Phi_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\Pi_i^{cm} - \Phi_i)^2} = \frac{\sigma^{cm} - \sigma}{\sigma^{cm}}, \quad (2.11)$$

де для  $i$ -го випадку прогнозу ( $i=1$  до  $N$ ):

$\Pi_i^{cm}$  – величини за стандартним прогнозом (наприклад, кліматологічним);

$\Pi_i$  – значення за методичним прогнозом;

$\Phi_i$  – значення, що спостерігається;

$\sigma^{cm}$  – середня помилка стандартного прогнозу.

Приведена дисперсія є мірою успішності, бо вона порівнює середньоквадратичну помилку методичного прогнозу з помилкою (дисперсією) якогось “базового” прогнозу низкої кваліфікації.

Діапазон значень приведеної дисперсії – від  $-\infty$  до  $+1$ . Негативне значення означає, що стандартний прогноз краще методичного, та навпаки. Якщо число подій невелико, негативне значення більш імовірно, що відбуватиметься через більшу вагу, надану великим помилкам. Значення  $1$  означає, що прогноз не містить ніякої помилки в значенні, тобто прогноз дорівнюється спостереженню. Значення  $0$  означає, що методичний прогноз не є кращим за стандартний.

Вибір стандартного прогнозу для порівняння визначається характером задачі. Не обов'язково порівнювати прогноз із кліматологічним. Відмінність тут така ж, як різниця між успішністю довгострокового кліматологічного прогнозу і успішністю прогнозу по вибірці *ad hoc* (тобто по незалежній вибірці, побудованій для даного випадку, що може бути надто короткою). Довгостроковий кліматологічний ряд даних кращий по практичних причинах. Коли прогноз попередньо зіставлений із довгостроковим кліматологічним прогнозом, завжди можна використовувати кліматологічний прогноз низкої кваліфікації. Навпроти, якщо обраний для порівняння стандартний прогноз є отриманий по середньому з незалежних випадків, якість не буде відомою, доки незалежна вибірка цілком не буде зібраною.

З іншого боку, можна було б спочатку видалити розбіжність між вибірковою середнім та довгостроковим кліматологічним значенням. Це

важлива проблема верифікації, тому що можна завжди поліпшити успішність, видаляючи дисперсію вибірки. Тому важливо знати, чи був зсув віддалений при оцінці результатів верифікації при використанні середньої помилки або СКВ. СКВ відносно середнього значення по незалежній вибірці завжди менше, ніж СКВ відносно кліматологічного середнього.

Множинний коефіцієнт кореляції (R) оцінює залежність між фактичними та прогнозованими значеннями, і пов'язаний із приведеною дисперсією:

$$r = \sqrt{\sigma_v}, \quad (2.12)$$

де  $r = 1$  відповідає точній кореляції,  $r = 0$  відповідає відсутності кореляції.

### 2.3. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди

#### 2.3.1. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди по пункту на добу і уточнень на поточний день, якщо СМЯ II та СМЯ III не прогнозувались і не спостерігались

1. Якщо стихійні метеорологічні явища II рівня небезпечності (СМЯ II) та стихійні метеорологічні явища III рівня небезпечності (СМЯ III) не прогнозувались і не спостерігались, то, обчислюючи оцінку прогнозу погоди, вираховують середню оцінку із справджуваності температури, опадів та таких явищ: вітер (шквал), туман, ожеледь, заморозки, якщо ці явища прогнозувались як небезпечні метеорологічні явища I рівня небезпечності (НМЯ I) або не прогнозувались, але спостерігались в критеріях НМЯ I. Всі інші метеорологічні явища не оцінюють.

2. Справджуваність прогнозів погоди на півдоби (ніч чи день) обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{III} = \frac{P_{II} + P_{OII} + \bar{P}_{ЯII}}{3}, \quad (2.13)$$

де

$\bar{P}_{III}$  – середня оцінка справджуваності прогнозу на півдоби по пункту;  
 $P_{II}$  – оцінка справджуваності прогнозу температури на півдоби по пункту;  
 $P_{OII}$  – оцінка справджуваності прогнозу опадів на півдоби по пункту;  
 $\bar{P}_{ЯII}$  – середня оцінка справджуваності прогнозу явищ погоди по пункту, які досягли критеріїв НМЯ I, що обчислюється за формулою:

$$\bar{P}_{ЯП} = \frac{P_{Я_1П} + P_{Я_2П} + \dots}{m_{Я}}, \quad (2.14)$$

де  $P_{Я_1П}$ ,  $P_{Я_2П}$  – оцінка прогнозу кожного явища;

$m_{Я}$  – кількість явищ, що спостерігались і/або прогнозувались.

Якщо НМЯ I не спостерігалось, прогноз оцінюють за формулою:

$$\bar{P}_{ПП} = \frac{P_{тП} + P_{опП}}{2}, \quad (2.15)$$

3. Оцінку справджуваності прогнозу температури по пункту визначають за таблицею 2.1.

Таблиця 2.1 – Оцінювання прогнозу температури по пункту

	Відхилення фактичної температури від значень інтервалу прогнозу температури на:		
	2°	3°	≥ 4°
оцінка	100%	50%	0%

*Примітка.* У випадку аномального ходу температури (і фактичного, і прогнозованого) оцінювання проводиться як звичайно: оцінюється мінімальна температура вночі і максимальна вдень.

4. Оцінку прогнозу кількості опадів ( $P_o$ ) з врахуванням фазового стану визначають за таблицею 2.2.

5. У холодний період, коли фазовий стан опадів за прогнозом був протилежним фактичному (тобто, протягом більшої частини дня чи ночі прогнозувався дощ, а йшов сніг чи навпаки), то оцінка кількості опадів за таблицею 2 зменшується вдвічі.

6. Якщо опади в прогнозі передбачалися тільки вдень, а вони почалися вранці (не більше, ніж за 3 години до початку дня) і продовжувалися протягом дня, то можна вважати, що вночі опадів не було, а всю кількість опадів віднести до дня.

7. Якщо опади на ніч не прогнозувались, але були передбачені попереднім прогнозом на день, і вони, розпочавшись вдень, продовжувалися не довше, ніж 3 години наступної ночі, а потім припинилися, то можна вважати, що вночі опадів не було, а всю кількість опадів віднести до попереднього дня, але за умови, що це не погіршить справджуваність попереднього прогнозу.

8. Якщо в прогнозі використовувався термін "короткочасний дощ", а він тривав 6 год і більше, то оцінку справджуваності опадів слід зменшити вдвічі.



Таблиця 2.2 – Оцінювання прогнозу опадів для різного фазового стану

Прогноз	Справджуваність прогнозу опадів (кількість опадів, мм)					
	Для рідких та мішаних опадів			Для твердих опадів		
	100%	50%	0%	100%	50%	0%
Без опадів	≤ 0,3	0,4-0,5	≥ 0,6	≤ 0,2	0,3-0,4	≥ 0,5
Без істотних опадів	≤ 0,5 та б/о	0,6-0,9	≥ 1	≤ 0,4 та б/о	0,5-0,7	≥ 0,8
Невеликі (слабкі) опади	0,0-5	6-9	б/о та ≥ 10	0,0-3	4-6	б/о та ≥ 7
Опади (помірні опади)	0,4-14	0,0-0,3 та 15- 29	б/о та ≥ 30	0,3-6	0,0-0,2 та 7-14	б/о та ≥ 15
Значні опади	10-49	7-9	< 7 та ≥ 50	5-19	3-4	< 3 та ≥ 20
- для селенебезпечних районів	10-29	7-9	< 7 та ≥ 30	5-19	3-4	< 3 та ≥ 20
Сильні опади	35-79	-	-	15-29	-	-
- для селенебезпечних районів	20-49	-	-	-	-	-
Надзвичайні опади	≥ 65	-	-	≥ 25	-	-
- для селенебезпечних районів	≥ 40	-	-	-	-	-

9. В прогнозі вітру оцінюють тільки його швидкість, якщо вона очікувалась у градаціях НМЯ I (СМЯ II та СМЯ III не було і не прогнозувалося). Справджуваність прогнозу вітру становить 100% за умови, що його фактична швидкість під час поривів не відхилялась від прогнозованої більше, ніж на 20% від крайніх значень, вказаних у прогнозі. Якщо відхилення фактичної швидкості під час поривів від прогнозованої складає понад 20%, то справджуваність прогнозу вітру дорівнює 0%. Якщо у прогнозі швидкість вітру передбачалась меншою за градації НМЯ I, а фактична його швидкість досягла цих градацій, то оцінка справджуваності прогнозу вітру становитиме 0%.

*Приклад. Якщо у прогнозі (попередженні) передбачався вітер 15-20 м/с, то прогноз вважають таким, що справдився на 100%, за фактичної швидкості вітру в межах 12-24 м/с.*

10. Якщо в прогнозах погоди на добу та уточненнях на поточний день на позначення часу використовувались терміни, наведені в п.5.7.1.[2], то відхилення фактичного часу початку опадів чи явищ, вказаних у прогнозах, не повинне перевищувати двох годин, інакше оцінка прогнозу опадів (табл. 2.2) чи явищ зменшується вдвічі.

*Приклад.* У прогнозі дано: "вранці невеликий дощ", а він розпочався о першій годині ночі, тобто відхилення складає 4 години, відповідно до п.5. 7.1[2] ("ранок" – 5-10 год), тоді оцінку справджуваності опадів згідно з таблицею 2.2 треба зменшити вдвічі.

### **2.3.2. Оцінювання справджуваності прогнозів погоди по території на 1-3 доби, уточнень на поточний день, якщо СМЯ II та СМЯ III не прогнозувалось і не спостерігалось**

1. Загальну оцінку справджуваності прогнозів погоди по території на добу розраховують як середнє значення справджуваності прогнозів температури, опадів та явищ, які передбачались або не передбачались, але досягли критеріїв НМЯ I. Її обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{\text{ПТ}} = \frac{\bar{P}_{\text{тГ}} + \bar{P}_{\text{от}} + \bar{P}_{\text{ЯТ}}}{3}, \quad (2.16)$$

де

$\bar{P}_{\text{ПТ}}$  – середня оцінка справджуваності прогнозу на півдоби по території;  
 $\bar{P}_{\text{тГ}}$  – середня оцінка прогнозу температури на півдоби по території;  
 $\bar{P}_{\text{от}}$  – середня оцінка прогнозу опадів на півдоби по території;  
 $\bar{P}_{\text{ЯТ}}$  – середня оцінка прогнозу всіх НМЯ I на півдоби по території, яку обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{\text{ЯТ}} = \frac{\bar{P}_{\text{Я}_1\text{Т}} + \bar{P}_{\text{Я}_2\text{Т}} + \dots + \bar{P}_{\text{Я}_i\text{Т}}}{m_{\text{Я}}}, \quad (2.17)$$

де

$\bar{P}_{\text{Я}_1\text{Т}}$ ,  $\bar{P}_{\text{Я}_2\text{Т}}$  і т. інш. – оцінка прогнозу кожного НМЯ I, що прогнозувалося або не прогнозувалося, але спостерігалось по території;  
 $m_{\text{Я}}$  – сумарна кількість НМЯ I, що прогнозувалися і що не прогнозувалися, але спостерігалися.

У прогнозах погоди по території на добу та уточненнях на поточний день оцінюванню підлягають ті ж НМЯ I, що й по пункту: вітер (шквал), туман, ожеледь, заморозки (п.6.3.1) [2], а на наступні дві доби – вітер (шквал) і заморозки.

Якщо НМЯ I не передбачалися і не спостерігалися, то оцінку справджуваності прогнозу обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{\text{ПТ}} = \frac{\bar{P}_{\text{тГ}} + \bar{P}_{\text{от}}}{2} \quad (2.18)$$

2. Оцінку справджуваності прогнозу температури по території обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{tT} = \frac{\sum_1^N P_{tП}}{N} \quad (2.19)$$

3. Якщо формулу (2.19) записати в розгорнутому вигляді, то для випадків, коли температура повітря прогнозується без додаткової градації "місцями", формула матиме такий вигляд:

$$\bar{P}_{tT} = \frac{100N_{100}+50N_{50}}{N}, \quad (2.20)$$

де

$N$  – кількість станцій, залучених до оцінки;

$N_{100}$  і  $N_{50}$  – кількість станцій, що одержали відповідно оцінку 100% та 50% (табл. 2.1).

4. Якщо температура повітря прогнозувалася з додатковою градацією "місцями" або "в окремих районах", то слід скористатися такою формулою:

$$\bar{P}_{tT} = \left[ \frac{100N_{100}+50N_{50}}{N} \right]_{очн \leq 90\%} + \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{до \leq 50\%}, \quad (2.21)$$

де

$N_{100}$  – кількість станцій, що одержали оцінку 100% (по основній і додатковій градації) та

$N_{50}$  – кількість станцій, що одержали оцінку 50% (тільки по основній градації).

Значення 90% обмежує верхню межу справджуваності основної градації, 50% – верхню межу додаткової градації. Обраховуючи оцінку основної градації, враховують станції, що отримали оцінку 100% і 50%, а додаткової градації – лише станції, що отримали оцінку 100%. Кожну станцію враховують лише один раз: в основній чи в додатковій градації.

5. Оцінка справджуваності прогнозу опадів по території обчислюється за формулою:

$$\bar{P}_{OT} = \frac{1}{N} \sum_1^N P_{OП}, \quad (2.22)$$

де

$P_{OT}$  – середня оцінка опадів по території;

$P_{OП}$  – сумарна оцінка прогнозу опадів по всіх станціях (табл. 2.2);

$N$  – кількість залучених до оцінки станцій.

6. Якщо опади по території передбачалися додатковим терміном "місцями" чи "в окремих районах" і вони відмічалися хоча б на одній станції, оцінка справджуваності прогнозу обчислюється за формулою:

$$\bar{P}_{OT} = \left[ \frac{100N_{100} + 50N_{50}}{N} \right]_{очн \leq 90\%} + \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{дожд \leq 50\%}, \quad (2.23)$$

де

$N_{100}$  – кількість станцій з оцінкою 100% (по основній і додатковій градації);  
 $N_{50}$  – кількість станцій з оцінкою 50% (тільки по основній градації) згідно з табл. 2.2.

Перший доданок стосується основної градації, його верхня межа не може перевищувати 90%. Другий доданок – додаткова градація ("місцями"), його верхня межа не може перевищувати 50%.

Якщо опади в прогнозі передбачалися "місцями", а їх не було зафіксовано на жодній станції, прогноз опадів оцінюється на 50%.

7. Якщо опади передбачалися без додаткової градації і вони спостерігалися на площі  $>10\%$ , то оцінку справджуваності прогнозу опадів обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{OT} = \left[ \frac{100N_{100} + 50N_{BG}}{N} \right]_{\leq 100\%} + \left[ \frac{100N_{HG}}{N} \right]_{\leq 60\%}, \quad (2.24)$$

де  $N_{100}$  – кількість станцій, що отримали оцінку 100% (табл. 2.2);

$N_{BG}$  – кількість станцій, що отримали оцінку 50%, але кількість опадів на них була більшою за прогнозовану градацію;

$N_{HG}$  – кількість станцій, на яких опадів випало менше за прогнозовану градацію.

У випадку, коли прогнозувалися невеликі опади, то за градацію, нижчу прогнозованої, вважається відсутність опадів; якщо прогнозувалися помірні опади, то за нижчу градацію вважаються невеликі опади і без опадів; якщо прогноуються значні опади, нижчою градацією є помірні і невеликі опади, але не без опадів. Верхня межа величини другого доданка становить 60%.

Якщо опади передбачалися без додаткової градації ("місцями"), а їх не було, то прогноз оцінюється на 10%.

8. Якщо опади передбачались терміном "дощ, місцями значний", то оцінку справджуваності прогнозу опадів обчислюють за формулою:

$$\bar{P}_{OT} = \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{осн \leq 90\%} + \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{доод \leq 50\%}, \quad (2.25)$$

де  $N_{100}$  – кількість станцій з оцінкою 100% (табл. 2.2).

Перший доданок стосується основної градації "дощ", його верхня межа не повинна перевищувати 90%, причому, сюди входять і станції, де кількість опадів була меншою, ніж передбачено в прогнозі, але не без опадів.

Другий доданок стосується додаткової градації ("місцями значний"), його верхня межа не повинна перевищувати 50%.

*Приклад 1.* Опадів у вигляді дощу фактично було: на 2 станціях по 15 мм, на 3 станціях – від 4 до 9 мм, ще на 2 станціях – 0,0-0,2 мм, і на 3 станціях опадів взагалі не було (загальна кількість станцій 10); за таблицею 1 визначаємо:

$$N_{100доод} = 2$$

$$N_{100осн} = 5$$

Підставляємо ці значення у формулу (2.25):

$$\bar{P}_{OT} = \left[ \frac{100 \cdot 5}{10} \right]_{\leq 90\%} + \left[ \frac{100 \cdot 2}{10} \right]_{\leq 50\%} = 70\%$$

*Приклад 2.* На 4 станціях було від 5 до 9 мм опадів, на одній – 0,0 мм, а на решті станцій опадів не було взагалі (загальна кількість станцій 10); за таблицею 2 визначаємо:

$$N_{100доод} = 0$$

$$N_{100осн} = 5$$

Підставляємо ці значення у формулу (2.25):

$$\bar{P}_{OT} = \frac{100 \cdot 5}{10} + 0 = 50\%$$

9. Оцінка справджуваності прогнозу кожного з явищ погоди, якщо вони передбачалися у градаціях НМЯ I, обчислюється за формулою:

$$\bar{P}_{ЯIT} = \frac{1}{N} \sum_1^N P_{ЯIT}, \quad (2.26)$$

де

$\bar{P}_{ЯIT}$  – оцінка НМЯ I по території;

$P_{ЯIT}$  – сумарна оцінка НМЯ I, що прогнозувалось, по всіх станціях території;

$N$  – кількість станцій по території, залучених до оцінки.

10. Якщо НМЯ I по території передбачалися додатковим терміном ("місцями", "в окремих районах") і спостерігалися хоча б на одній станції, то потрібно скористатися такою формулою:

$$\bar{P}_{ЯГ} = \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{осн \leq 90\%} + \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{доод \leq 50\%}, \quad (2.27)$$

де

$N_{100}$  – кількість станцій з оцінкою 100%: по основній градації (без явищ) – у першому доданку (верхня межа цього доданка становить 90%) або по додатковій (оцінка явища) – у другому доданку (верхня межа цього доданка 50%).

Якщо НМЯ I прогнозувалося "місцями", але не було зафіксоване на жодній станції і не спостерігалось навіть слабкого явища, то такий прогноз матиме оцінку 50%.

11. Якщо НМЯ I передбачалося без додаткового терміна (більше, ніж на 30% території), а спостерігалось більше, ніж на 10% території, то його оцінка обчислюється за формулою:

$$P_{ЯГ} = \left[ \frac{100N_{100}}{N} \right]_{\leq 100\%} + \left[ \frac{100N_{НГ}}{N} \right]_{\leq 60\%}, \quad (2.28)$$

де

$N_{100}$  – кількість станцій, що отримали оцінку 100% (явище на яких спостерігалось);

$N_{НГ}$  – кількість станцій, на яких НМЯ I не спостерігалось.

Якщо НМЯ I прогнозувалися на більшій частині території (без додаткового терміна "місцями"), а спостерігалися на площі 10% і менше, або їх не було зовсім, то оцінка такого прогнозу явищ по території становить 10%.

12. Якщо НМЯ I не прогнозувалися, але спостерігалися на території більше ніж 30%, то такий прогноз оцінюють за формулою:

$$P_{ЯГ} = \left[ 1 - \frac{n_{Я}}{N} \right] 100\%, \quad (2.29)$$

де

$n_{Я}$  – кількість станцій з НМЯ I;

$N$  – загальна кількість станцій.

*Приклад. Якщо на 4 з 10 станцій спостерігалися НМЯ I, які не прогнозувалися, то оцінка буде така:*

$$P_{ЯГ} = \left[ 1 - \frac{4}{10} \right] 100\% = 60\%$$

13. Якщо прогнозувалося чи спостерігалось кілька явищ, то вираховується середня їх оцінка.

## 2.4. Побудова матриць спряженості альтернативних прогнозів погоди

Зіставлення прогностичних та фактичних даних може бути подане у формі таблиці спряженості ознак, або матриці спряженості (МС). Таблиця матриці спряженості є формою реалізацій прогнозу певного явища або величини по градаціях (фазах погоди). Безпосередньо матриця спряженості не є методом оцінки прогнозів, але забезпечує основу, на якій будується багато корисного матеріалу. Матриця спряженості по сутності є аналогічним графіковій розкиду для категоризованої змінної.

Альтернативний прогноз має всього дві фази фактичної погоди (наявність  $\Pi$  або відсутність  $\bar{\Pi}$  явища або очікуваної градації величини), і два прогнози – наявності або відсутності явища за прогнозом. Відповідно, будь-який випадок прогнозу стосуються до однієї з чотирьох ситуацій:

$n_{11}$  – число випадків, коли прогноз наявності явища виправдався (явище прогнозувалося і спостерігалось);

$n_{12}$  – число випадків, коли прогноз відсутності явища не виправдався (явище не прогнозувалося, але спостерігалось) – помилки-пропускання або помилки 1 роду;

$n_{21}$  – число випадків, коли прогноз наявності явища не виправдався (явище прогнозувалося, але не спостерігалось) – помилки страховки або помилки 2 роду;

$n_{22}$  – число випадків, коли прогноз відсутності явища виправдався (явище не прогнозувалося і не спостерігалось).

Таким чином, матриця спряженості альтернативного прогнозу виглядає у виді таблиці 2x2 (2 рядки та 2 стовпчики, табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Матриця спряженості альтернативного прогнозу

	Прогнозується наявність явища, $\Pi$	Прогнозується відсутність явища, $\bar{\Pi}$	Кількість спостережень, $\sum_{j=1}^2 n_j$
Спостерігається наявність явища, $\Phi$	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{10}$
Спостерігається відсутність явища, $\bar{\Phi}$	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{20}$
Кількість прогнозів, $\sum_{i=1}^2 n_i$	$n_{01}$	$n_{02}$	$N$

Наведемо також приклад матриці спряженості трифазового прогнозу (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Матриця спряженості прогнозу швидкості вітру (м/с).

Фактично спостерігається $\Phi_i$	Прогнозується, $\Pi_j$			Кількість спостережень
	0-9 ( $j=2$ )	10-14 ( $j=2$ )	15-20 ( $j=3$ )	
0-9 ( $i=1$ )	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{13}$	$n_{10}$
10-14 ( $i=2$ )	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{23}$	$n_{20}$
15-20 ( $i=3$ )	$n_{31}$	$n_{32}$	$n_{33}$	$n_{30}$
Кількість прогнозів	$n_{01}$	$n_{02}$	$n_{03}$	$N$

Фазами можна обрати градації величини (у кількісній формі або в якісній – слабка, помірна та сильна ступінь), або інші категорії, наприклад, фаза опадів або комплексний показник забруднення тощо.

Матриця спряженості може бути побудована двома засобами:

1) для категоричних прогнозів – кожний випадок додається до певного елемента таблиці спряженості відповідно до категорії прогнозу і факту;

2) для ймовірнісних прогнозів – кожний випадок збільшує ймовірність прогнозу відповідної категорії.

Наприклад, якщо прогностичні значення ймовірності явища потрапляють у категорії 1, 2 і 3, і по факту частота явища відповідає категорії 2 фактичних прогнозів, то три зазначені ймовірності були б тоді додані до елементів  $n_{21}$ ,  $n_{22}$ ,  $n_{23}$  матриці (табл. 2.4). Проте, для побудови матриці спряженості бажано попередньо категоризувати ймовірнісний прогноз, використовуючи деяку класифікацію даних.

Створення матриці спряженості потребує розподілу даних по категоріях, що часто створює проблеми щодо визначення обсягу вибірки. Вибір числа категорій є компромісом між метою оцінки успішності прогнозів та статистичною репрезентативністю даних, що потребує досить великий обсяг вибірки в кожній категорії таблиці.

### 2.4.1. Загальне справджування

**1. Загальне справджування** визначається як частка прогнозів, що виправдалися, (із точністю до категорії) від їхнього загального числа. Загальне справджування розраховується підсумовуванням діагональних елементів матриці спряженості, розділених на загальну кількість подій  $N$ :



$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij} \delta_{ij}, \quad (2.30)$$

де

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0, & (i \neq j) \\ 1, & (i = j) \end{cases}. \quad (2.31)$$

Для альтернативних прогнозів:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N}. \quad (2.32)$$

Якщо замість категоричних прогнозів розглядаються імовірнісні, загальна справджування інтепретується як імовірність правильного прогнозу.

Загальне справджування змінюється в межах від 0 (усі прогнози помилкові) до 1 (прогнози на рівні ідеальних), або від 0% до 100%.

Загальне справджування не є надійним критерієм якості прогнозів, тому що воно:

- не дозволяє встановити переваги методичного прогнозу над формальний кліматологічний;
- не враховує характер розподілу помилок 1 і 2 роду та їх різної значущості для споживача;
- не враховує географічних особливостей регіону прогнозу, оскільки те саме загальне справджування може бути властиве прогнозам в істотно різних за кліматичними особливостями регіонах.

Головний недолік цієї міри в тому, що вона створює ілюзію, ніби можна ігнорувати методичне прогнозування й апіорно прогнозувати найбільш імовірний вихід, штучно завищуючи частку правильних прогнозів (цей метод називають “стратегією переможця”). Вже згадувана причина цього складається в тому, що ніяка окрема міра, показник або індекс не можуть розв'язати це протиріччя верифікації. Єдиний показник стискає інформацію про усі властивості прогнозу в одне число, що закінчується втратою інформації взагалі.

Ситуацію в інтепретації загального справджування можна поліпшити, з огляду на кліматологічні частоти рідкісних явищ, або враховуючи загальне справджування категорією.

#### 2.4.2. Метод вагових коефіцієнтів

У практиці використання прогнозів у залежності від характеру виробничого процесу припускається певна їх помилка. Значущість помилок прогнозування для користувача можна врахувати за допомогою вагових

коефіцієнтів  $a_{ij}$ . Ваговий коефіцієнт призначається для кожної градації, або для декількох градацій, за наступним основним принципом:

- правильний прогноз одержує вагу, що дорівнює 1;
- невдалий прогноз одержує вагу від 0 до 1, у залежності від того, наскільки значимої є відповідна неточність у виробничому процесі.

**Матрицею ваг** називається таблиця вагових коефіцієнтів, що надаються певним сполученням прогностичних та фактичних градацій. Вона може мати ту ж вимірність, що й матриця спряженості.

**Метод вагових коефіцієнтів** полягає в тому, що загальне справджування розраховується як результат множення матриці спряженості на матрицю ваг:

$$p = \frac{1}{N} \cdot \langle n \rangle \cdot \langle a \rangle. \quad (2.33)$$

Якщо матриця спряженості і матриця ваг мають однакову вимірність, то загальне справджування з урахуванням ваг помилок прогнозу може бути виражена як:

$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{ij} a_{ij} \quad (2.34)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{N} \cdot \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1m} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{n1} & n_{n2} & \dots & n_{nm} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

З цієї точки зору, в класичному формулюванні загальне справджування формально враховує всі неправильні прогнози з вагою 0:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

Наприклад, для альтернативного прогнозу матриця ваг є квадратною, вимірністю  $2 \times 2$ , на головній діагоналі якої знаходяться одиниці, а на побічній – нулі.

Загальне справджування є суцільно формальний показник, в якому ваги всіх неправильних прогнозів однакові та дорівнюють нулю, що означає однаково байдужний вплив цих помилок на виробничий процес споживача. Проте, це далеко не завжди так, і насамперед це залежить від характеру

явища і механізму впливу цього явища на виробничий процес. Наприклад, “штормові” градації величини, будучи неадекватно передбаченими, можуть завдати споживачу набагато більш суттєвий збиток, ніж суміжні несприятливі градації. З іншого боку, виробничий процес споживача може виявитися нечутливим до деяким із градацій метеовеличини; проте відповідно до (2.35) вони ввійдуть у розрахунок із нульовою вагою. У першому прикладі загальне справджування повинно бути заниженим, а в другому – може бути підвищеним. У загальному випадку, помилки 1 та 2 роду впливають на споживача істотно різними засобами, хоча метод розрахунку загального справджування (2.34) не робить між ними ніякої різниці.

Приклад 3 матеріалів спостережень знайдена матриця спряженості прогнозу швидкості вітру (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Матриця спряженості прогнозу швидкості вітру (м/с)

$\Phi_i$	$\Pi_j$			Сума
	0-9	10-14	15-20	
0-9	47	10	1	<b>58</b>
10-14	16	29	6	<b>51</b>
15-20	1	3	13	<b>17</b>
Сума	<b>64</b>	<b>42</b>	<b>20</b>	<b>126</b>

Більш сильний вітер, ніж за прогнозом, є небезпечним явищем. Відповідно, помилки-пропускання знаходяться нижче головної діагоналі (16+3+1=20), а помилки-страховки – вище (10+6+1=17). Загальне справджування складає 0,706 або 70,6%; при цьому роль обох помилок передбачається однаковою (вага дорівнює нулю).

Якщо споживач несе більше втрат у ситуаціях, коли вітер виявляється більше, або значно більше, ніж за прогнозом, тобто є сенс занизити загальне справджування за рахунок цих помилок. З іншого боку, для такого споживача помилка-страховка звичайно не веде до значних утрат, якщо вартість попереджувальних заходів є невеликою. Тоді загальне справджування можна підвищити.

Нехай матриця ваг визначена в такій формі:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0.5 \\ -1 & -0.5 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.37)$$

Це означає, що:

1) помилки-страховки на 1 градацію збільшують загальне справджування на  $8/126 (10 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,5 = 8)$ , тобто на 0,063 (6,3%);

2) помилки-страховки на 2 градації не змінюють оцінку справджування;

3) помилки-пропускання на 1 градацію зменшують загальне справджування на  $1,5/126 (3 \cdot 0,5 = 1,5)$ , тобто на 0,012 (1,2%) – зверніть увагу, що якщо фактично вітер складає 10-14 м/с при прогнозі 0-9 м/с, вага відповідної помилки дорівнює нулю і не змінює величину справджування, тобто до цієї ситуації споживач не є чутливим;

4) помилки-пропускання на 2 градації зменшують загальне справджування на  $1/126 (1 \cdot 1 = 1)$ , тобто на 0,008 (0,8%)

Загальне справджування з урахуванням значущості помилок складало  $70,6 + 6,3 - 1,2 - 0,8 = 74,9\%$ . Збільшення відбулося за рахунок малої чутливості споживача до помилок-страховок, яких даний метод прогнозування дозволяє майже стільки ж, скільки і пропускань. Отримане значення більш коректно, тому що є величиною, яку споживач «відчуває» на собі, на відміну від формальної оцінки (2.30).

Зрозуміло, що зміна результатів підсумовування за допомогою модифікації елементів матриці сопряженості ваговими коефіцієнтами значно розширює придатність показника загального справджування. Споживач може посилити або, навпроти, зм'якшити вимоги до окремих прогностичних градацій, зменшуючи відповідний ваговий коефіцієнт або наближуючи його до одиниці. До розрахунку ваг можна підходити з різноманітними передумовами, проте найбільше коректне врахування значущості помилок досягається за допомогою аналізу економічної реакції споживача на різні сполучення (Прогноз-Факт).

Прикладом формальної жорсткості вимог до помилок альтернативних прогнозів є оцінка справджування, в якому помилкам 1 та 2 роду присвоюється однакова вага –1:

$$\rho = \frac{(n_{11} + n_{22}) - (n_{12} + n_{21})}{N}, \quad (2.38)$$

або

$$\rho = \frac{1 \cdot n_{11} + 1 \cdot n_{22} - 1 \cdot n_{12} - 1 \cdot n_{21}}{N}, \quad (2.39)$$

тобто, відповідно до (2.34),

$$\rho = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} +1 & -1 \\ -1 & +1 \end{pmatrix}. \quad (2.40)$$

У цьому показнику обидві помилки рівнозначні, вага їх складає ту саму величину –1. Ця міра настільки ж формальна, що й загальне

справджування. Існує, проте, ряд методик розрахунку матриці ваг, адаптованих до задач і характеристик споживача.

Відповідно до методики М.Г.Тер-Мкртчяна, помилки прогнозу діляться на 2 категорії – розбіжність градації та помилка у виборі тенденції. Відповідно, елементи матриці ваг розраховуються по формулі:

$$a_{ij} = (1 - x_{ij}) \cdot (1 - y_{ij}). \quad (2.41)$$

де  $x_{ij}$  та  $y_{ij}$  – відповідні штрафні функції. Матриця ваг подана у вигляді:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 1-x & (1-x)(1-y) & 0 \\ 1-x & 1 & 1-y & (1-x)(1-y) \\ (1-x)(1-y) & 1-y & 1 & 1-x \\ 0 & (1-x)(1-y) & 1-x & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.42)$$

Згідно з узагальненими даними  $x=1/2$  та  $y=2/3$ :

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0,50 & 0,17 & 0 \\ 0,50 & 1 & 0,33 & 0,17 \\ 0,17 & 0,33 & 1 & 0,50 \\ 0 & 0,17 & 0,50 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.43)$$

Для матриці спряженості 3x3 при рівній імовірності здійснення усіх фаз, матриця ваг може бути задана у формі:

$$a_{ij} = \begin{pmatrix} 100 & -50 & -100 \\ 0 & 100 & 0 \\ -100 & -50 & 100 \end{pmatrix}. \quad (2.44)$$

**Виробничою** називається матриця ваг як “цін” прогнозів, розрахована з господарчих характеристик споживача на основі узагальнення його фінансової реакції на різноманітні варіанти прогнозів, що виправдалися та не виправдалися.

Елементи виробничої матриці ваг розраховуються виходячи з величини та знака помилки прогнозу  $\Delta\eta_{ij}$  та втрат споживача в різних ситуаціях  $s_{ij}$ :

$$a_{ij} = 1 - \frac{s_{\max} |\Delta\eta_{ij}|}{s_a \Delta\eta_{\max}}. \quad (2.45)$$

де  $\Delta\eta_{\max}, \Delta\eta_{ij}$  – максимальна і рядова помилки прогнозу,

$S_{\max}, S_a$  – максимальні і мінімально припустимі втрати споживача, що визначені на підставі матриці втрат.

Помилка прогнозу розраховується для кожного сполучення (Прогноз-Факт) на підставі матриці спряженості

$$\Delta\eta_{ij} = \eta_{ij}^{\Pi} - \eta_{ij}^{\Phi}. \quad (2.46)$$

Знак цієї помилки залежить від того, чи є вона пропусканням або страховкою. Останнє встановлюється відповідно до того, який стан погоди розглядається споживачем як небезпечний.

Отже, загальне справджування з урахуванням ваг помилок прогнозу є значно більш адаптованим до конкретного користувача.

Попередня оцінка якості прогнозу може бути отримана з аналізу **умовних імовірностей**, що можуть бути розраховані по двох варіантах групування даних:

- розподіл прогнозів по кожній фазі фактичної погоди  $\Phi_i$ ;
- розподіл фактичних значень по кожній прогностичній фазі погоди  $\Pi_j$ .

У першому випадку вивчаються розподіли

$$\tilde{q}_{ij} = q\left(\Phi_i, \frac{\Pi_j}{\Phi_i}\right) = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} \quad (2.47)$$

що характеризують міру попередженості кожної градації фактичних значень величини.

В наступному випадку вивчаються розподіли

$$q_{ij} = q\left(\Phi_i, \frac{\Phi_i}{\Pi_j}\right) = \frac{n_{ij}}{n_{0j}}. \quad (2.48)$$

**Зсуненість** – це відношення прогностичної частоти до фактичної для кожної категорії. Це – міра спроможності прогнозу прогнозувати події з тою самою частотою, що й у вибірці фактичних значень, незважаючи на точність прогнозу. Для квадратних матриці спряженості:

$$F_{ij} = \frac{n_{0j}}{n_{i0}} \quad (2.49)$$

Значення 1, означає, що зсув є відсутнім. Значення, завбільшки 1, означають, що прогноз завищує значення щодо тих, що спостерігаються, завменшки 1 – занижує.

Для більш глибокої і різнобічної оцінки успішності прогнозування окремих метеорологічних величин і явищ погоди використовується система критеріїв, кожен з яких характеризує окрему сторону якості прогнозування

**1. Критерій Хайдке** є одною з форм реалізації (2.23) і записується у вигляді:

$$S = \frac{E - E^{cm}}{N - E^{cm}}, \quad (2.50)$$

де  $E$  позначає загальне число правильних методичних прогнозів (суму діагональних елементів квадратної матриці спряженості):

$$E = \sum_{i=1}^n n_{ii}, \quad (2.51)$$

а  $E^{cm}$  – загальне число інерційних ( $E^{ih}$ ), випадкових ( $E^{vun}$ ) або кліматологічних ( $E^{kl}$ ) прогнозів, що виправдалися. Зокрема, для альтернативних прогнозів:

$$E^{cm} = \begin{cases} E^{un} = n_{11}^{ih} + n_{22}^{ih} \\ E^{cl} = n_{11}^{vun} + n_{22}^{vun} \\ E^{kl} = n_{11}^{kl} + n_{22}^{kl} \end{cases} \quad (2.52)$$

Для випадкових прогнозів можна одержати:

$$E^{vun} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m n_{i0} n_{0j}}{N} \quad (2.53)$$

Зокрема, для альтернативних прогнозів:

$$E^{vun} = \frac{n_{10} n_{01} + n_{20} n_{02}}{N} \quad (2.54)$$

Інтерпретація різноманітних значень  $S$  :

- $S = -\infty$  означає, що стандартний прогноз ідеально точний;

- $S < 0$  означає, що число правильних методичних прогнозів менше числа правильних стандартних прогнозів (негативна успішність);
- $S = 0$  означає, що методичний прогноз на рівні стандартного (нульова успішність);
- $S = 1$  означає, що методичний прогноз на рівні ідеального.

Критерій успішності  $S$ , таким чином, визначається як частка прогнозів, що є правильними після виключення тих прогнозів, що були б правильні на основі стандартної передумови (випадкової, інерційної, кліматологічної).

До матриці спряженості можна застосувати вагову матрицю до розрахунку критерію успішності.

Критерій успішності Хайке найчастіше вважає випадковий прогноз стандартом порівняння, та в цій формі є популярним статистичним показником. Очевидно, це відбувається тому, що випадковий прогноз є найбільш відомим стандартом низкою кваліфікації (для нього потрібно лише припущення), і тому легко показати позитивні якості методичного прогнозу, а також тому, що за винятком вихідної матриці спряженості, ніяка інша інформація не потрібна. Використання інерційного або кліматологічного прогнозу потребує створення іншої матриці спряженості. Автор критерію обирає стандартами для порівняння саме інерційні та кліматологічні прогнози.

**2. Критерій надійності прогнозів,** запропонований Н.А.Багровым, має вигляд:

$$H = \frac{p - p^{cl}}{1 - p^{cl}} \quad (2.55)$$

та характеризує відносне збільшення загального справджування методичних прогнозів у порівнянні з випадковими, до максимально можливого. Значення  $H$  змінюється в межах від 0 (прогноз на рівні випадкового) до 1 (прогноз на рівні ідеального).

**3. Критерій точності прогнозів,** запропонований М.А.Обуховым, має вигляд:

$$Q = 1 - \left( \frac{n_{12} + n_{21}}{n_{10} + n_{20}} \right) \quad (2.56)$$

та характеризує частку методичних прогнозів, що виправдалися, при відомій повторювальності наявності або відсутності явища. Значення  $Q$  змінюється в межах від -1 (усі прогнози помилкові) до +1 (прогнози на рівні ідеальних). Випадок  $Q = 0$  відповідає прогнозам на рівні випадкових.

**4. Показник зваженої справджуваності по Л. А. Хандожко.** Даний показник виступає в якості такого заходу справджуваності, яка



враховує взвешеную "ціну" прогнозів, що виправдалися. При цьому враховуються ваги помилок -пропусков  $n_{12}$  і помилок -страховок  $n_{21}$

$$p_x = \frac{1}{N} \left[ n_{11} \left( 1 - \frac{n_{12}}{n_{10}} \right) + n_{22} \left( 1 - \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right] \quad (2.57)$$

**5. Адекватність прогнозів по Л. А. Хандожко.** Враховується умовний за прогнозом успіх і безумовна за фактом помилковість прогнозування

$$A_x = 0,5 \left[ \left( \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) - \left( \frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right) \right] \quad (2.58)$$

Показник  $A_x$  є більш жорстким критерієм оцінки.

**6. Кількість прогностичної інформації та інформаційне відношення.**

У теорії інформації встановлено, що міра невизначеності стану будь-якої фізичної системи описується її статистичною ентропією. Природна невизначеність властива, зокрема, будь-якому стану погоди. Мірою невизначеності здійснення явища або фази погоди є, таким чином, безумовна (тобто та, що не залежить від умов визначення, обумовлена об'єктивними фізичними факторами) або кліматична ентропія:

$$H(\Phi) = - \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) \cdot \lg p(\Phi_i), \quad (2.59)$$

що визначається на підставі відомої ймовірності явища або фази погоди:

$$p(\Phi_i) = p_{i0} = \frac{n_{i0}}{N} \quad (2.60)$$

Таким чином, для альтернативних прогнозів ( $n = 2$ ):

$$H(\Phi) = - \left( \frac{n_{10}}{N} \cdot \lg \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \cdot \lg \frac{n_{20}}{N} \right) \quad (2.61)$$

Невизначеність властива також прогностичному стану погоди. Прогноз по суті являє собою стан природного середовища, що моделюється, який залежить від змісту метода прогнозування, включаючи інформаційне

забезпечення цього методу – дані, рекомендації і т.д. Мірою невизначеності здійснення прогнозованого явища або фази погоди є в цьому випадку умовна ентропія (тобто залежна від суті методу прогнозування):

$$H(\Pi) = - \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) \cdot H(\Pi_j / \Phi_i) \quad (2.62)$$

Тут:

$$H(\Pi_j / \Phi_i) = \sum_{i=1}^n p(\Pi_j / \Phi_i) \cdot \lg(\Pi_j / \Phi_i) \quad (2.63)$$

– часткова ентропія, що визначається на основі умовної ймовірності явища або фази погоди:

$$p(\Pi_j / \Phi_i) = q_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{0j}} = \frac{P_{ij}}{P_{0j}} \quad (2.64)$$

Для альтернативних прогнозів ( $n = m = 2$ ) умовна ентропія записується у вигляді:

$$H(\Pi) = - \left[ \frac{n_{01}}{N} \cdot \left( \frac{n_{11}}{n_{01}} \cdot \lg \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \cdot \lg \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \cdot \left( \frac{n_{12}}{n_{02}} \cdot \lg \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \cdot \lg \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) \right] \quad (2.65)$$

Основа логарифма вибирається довільно. Якщо основа логарифма дорівнює 2, то ентропія буде виражатися в бітах, якщо 10 – у дитах.

Задача будь-якого прогнозу складається в тому, щоб підвищити визначеність знань про можливу реалізацію явища або фази погоди. Це виражається в зменшенні ентропії прогностичного стану  $H(\Pi)$  в порівнянні з величиною безумовної ентропії  $H(\Phi)$ . Очевидно, що чим більш якісним є метод прогнозування, тим менше невизначеності він припускає, і тим більшою варто очікувати різницю зазначених величин ентропії. Різниця величин безумовної й умовної ентропії, що характеризує міру визначеності прогнозу, називається кількістю прогностичної інформації:

$$I = H(\Phi) - H(\Pi) \quad (2.66)$$

Ця величина, проте, не являється надійною характеристикою, оскільки різні явища (фази погоди) характеризуються різноманітною кліматичною повторюваністю. Таким чином, те саме значення  $I$  може відповідати прогнозам ряду явищ (фаз), що мають істотно різноманітну точність. Тому зручніше використовувати більш універсальний критерій - інформаційне відношення:

$$v = \frac{H(\Phi) - H(\Pi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)}, \quad (2.67)$$

що показує, яка частина невизначеності кліматологічних прогнозів усувається за допомогою даного методу прогнозування.

Кількість прогностичної інформації є достатньо наочною при зіставленні різноманітних прогнозів того самого явища (фази). Якщо ставиться задача зіставити методи прогнозу різноманітних явищ (фаз), більш кращим є інформаційне відношення.

Випадкові прогнози характеризуються значеннями  $I = 0$ ,  $v = 0$ . Проте, як для ідеальних, так і для цілком зрадливих прогнозів  $I > 0$ , а  $v = 1$ .

## 2.5. Критерії статистичного зв'язку

1. **Критерій незалежності Пірсона** заснований на порівнянні частот реалізацій різноманітних ситуацій методичного прогнозу  $n_{ij}$  (елементів матриці спряженості методичного прогнозу) із тими ж частотами для випадкового прогнозу  $n_{ij}^{sun}$  (елементами матриці спряженості випадкового прогнозу). Для побудови матриці спряженості випадкового прогнозу приймається нульова гіпотеза про незалежність ознак  $\Pi$  та  $\Phi$  між собою. Таким чином, розрахована ймовірність  $p(\chi^2)$  дозволяє з'ясувати, чи існує статистичний зв'язок між ознаками  $\Pi$  та  $\Phi$ .

Критерій незалежності Пірсона розраховується за допомогою формули:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - n_{ij}^{sun})^2}{n_{ij}^{sun}} \quad (2.68)$$

Розрахована таким способом величина дорівнюється з табличним значенням  $\chi_{\alpha, v}^2$ , отриманим при завданні визначених значень рівня значущості  $\alpha$  (звичайно 5%) та числа ступенів волі:

$$v = (n - 1) \cdot (m - 1), \quad (2.69)$$

де  $n$  – число рядків матриці спряженості;

$m$  – число її стовпчиків (у випадку альтернативного прогнозу обидві величини дорівнюють 2).

Гіпотеза про взаємну незалежність ознак  $\Pi$  та  $\Phi$  відхиляється (тобто признається, що зв'язок між прогностичним і фактичним станом погоди не

є випадковим, а, отже, методичний прогноз добре описує майбутній стан погоди), якщо  $\chi^2 > \chi_{\alpha, \nu}^2$ .

Якщо  $\chi^2 \leq \chi_{\alpha, \nu}^2$ , то зв'язок між ознаками  $\Pi$  та  $\Phi$  носить випадковий характер, тобто методичний прогноз знаходиться на рівні випадкового.

Для одержання статистично значимих оцінок потрібно достатнє число випадків спостережень (тобто суми чотирьох частот у матриці спряженості)  $N$ . За деякими оцінками, це число не повинно бути менше 30. Більш точно придатність критерію Пірсона до матриці спряженості 2x2 формується у вигляді умови Кокрена:

- якщо  $N < 20$ , те замість критерію  $\chi^2$  варто використовувати більш точний критерій Фішера;
- якщо  $20 \leq N < 40$ , і найменша частота  $n_{ij} < 5$ , то замість критерію  $\chi^2$  знову варто використовувати критерій Фішера;
- якщо  $N \geq 40$ , те критерій  $\chi^2$  варто використовувати з поправкою Іейтса на апроксимацію дискретного поліноміального розподілу безперервним розподілом  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = N \cdot \frac{[(n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}) - 0,5 \cdot N]^2}{n_{10}n_{20}n_{01}n_{02}} \quad (2.70)$$

Критерій незалежності Пірсона є лише індикатором статистичного зв'язку між ознаками  $\Pi$  та  $\Phi$ , але не визначає ступеня цього зв'язку.

На базі  $\chi^2$  розроблено багато похідних критеріїв.

**2. Показником спряженості** називається величина

$$\phi^2 = \chi^2 / N, \quad (2.71)$$

яка змінюється в межах від 0 до +1. Чим менша ця величина, тим ближче методичний прогноз до випадкового.

**3. Коефіцієнтом подібності** (коефіцієнтом якісної кореляції) називається корінь квадратний із показника спряженості:

$$A = \sqrt{\phi^2} \quad (2.72)$$

Коефіцієнт подібності змінюється від 1, якщо всі прогнози вдалі, тобто  $n_{12} = n_{21} = 0$ , до -1, якщо всі прогнози помилкові ( $n_{11} = n_{22} = 0$ ). У випадку  $n_{11}n_{22} = n_{12}n_{21}$  коефіцієнт подібності дорівнює нулю, тобто всі прогнози випадкові.

Коефіцієнт подібності використовується як міра кореляції ознак П і Ф. Тому що в суворому значенні ця величина не є коефіцієнтом кореляції, та її можна розглядати як міру якісної кореляції зазначених ознак.

**4. Коефіцієнт контингенції**, запропонований Пірсоном, дорівнює

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N + \chi^2}} \quad (2.73)$$

та змінюється в межах від 0 (немає статистичного зв'язку між ознаками П та Ф) до +1 (статистичний зв'язок між ознаками П та Ф максимальний).

**5. Перехресне відношення** (відношення переважень), визначається формулою:

$$\psi = \frac{n_{11}}{n_{12}} : \frac{n_{21}}{n_{22}} = \frac{n_{11}n_{22}}{n_{12}n_{21}} \quad (2.74)$$

Це відношення знаходиться в межах від 0 (немає правильних прогнозів) до  $\infty$  (немає неправильних прогнозів).

**6. Коефіцієнт зв'язку Юла** визначається формулою:

$$I = \frac{\psi - 1}{\psi + 1} = \frac{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}{n_{11}n_{22} + n_{12}n_{21}} \quad (2.75)$$

Це відношення знаходиться в межах від -1 (немає правильних прогнозів) до 1 (немає неправильних прогнозів). Статистичний зв'язок між ознаками П та Ф відсутній при  $I = 0$ .

**7. Коефіцієнт колігації** визначається формулою:

$$K(\psi) = \frac{\sqrt{\psi} - 1}{\sqrt{\psi} + 1} = \frac{\sqrt{n_{11}n_{22}} - \sqrt{n_{12}n_{21}}}{\sqrt{n_{11}n_{22}} + \sqrt{n_{12}n_{21}}} \quad (2.76)$$

**8. Міри Гутмана** є асиметричними мірами зв'язку, що характеризують відносно збільшення успішності в частковому або загальному випадку прогнозу.

Якщо по вибірці обсягом  $N$  має бути дати прогноз ознаки Ф на основі ознаки П, коли зв'язок між ознаками П та Ф невідома, зменшення відносної помилки прогнозу визначається формулою:

$$\lambda(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{j=1}^m n_j^{макс} - n_{i_0}^{макс}}{N - n_{i_0}^{макс}} \quad (2.77)$$

де  $n_j^{макс}$  – максимальне значення частоти в  $j$ -му стовпчику;

$n_{i_0}^{макс}$  – максимальне значення суми частот у стовпчику сум по рядках.

Якщо по вибірці обсягом  $N$  має бути дати прогноз ознаки  $\Pi$  на основі ознаки  $\Phi$ , коли зв'язок між ознаками  $\Pi$  та  $\Phi$  невідома, зменшення відносної помилки прогнозу визначається формулою:

$$\lambda(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n n_i^{макс} - n_{0j}^{макс}}{N - n_{0j}^{макс}} \quad (2.78)$$

де  $n_i^{макс}$  – максимальне значення частоти в  $i$ -му рядку;

$n_{0j}^{макс}$  – максимальне значення суми частот у рядку сум по стовпчиках.

Якщо у вибірці обсягом  $N$  передбачається взаємний вплив ознак  $\Pi$  і  $\Phi$  один на одного, то для оцінки зв'язку використовується міра:

$$\lambda = \frac{\left( \sum_{j=1}^m n_j^{макс} - n_{i_0}^{макс} \right) + \left( \sum_{i=1}^n n_i^{макс} - n_{0j}^{макс} \right)}{2N - (n_{i_0}^{макс} + n_{0j}^{макс})} \quad (2.79)$$

**9. Міри Гудмана та Крускала** дозволяють оцінити взаємну залежність ознак  $\Pi$  та  $\Phi$ . **Часткові міри** характеризують успішність прогнозування однієї ознаки, що виражається пропорційно частоті іншого.

**Генеральна міра** характеризує відносне зменшення ймовірності неправильного прогнозу одного з ознак при відомому іншому, у порівнянні з випадковим прогнозом.

Міра взаємозв'язку ознаки  $\Pi$  від  $\Phi$ :

$$\tau(\Pi / \Phi) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(N \cdot n_{ij} - n_{i_0} n_{0j})^2 / n_{0j}]}{N \cdot \left( N^2 - \sum_{i=1}^n n_{i_0}^2 \right)} \quad (2.80)$$

Міра взаємозв'язку ознаки  $\Phi$  від  $\Pi$ :

$$\tau(\Phi / \Pi) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(N \cdot n_{ij} - n_{i0} n_{0j})^2 / n_{i0}]}{N \cdot \left( N^2 - \sum_{j=1}^m n_{0j}^2 \right)} \quad (2.81)$$

Загальна (генеральна) міра взаємозв'язку ознак  $\Pi$  та  $\Phi$ :

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(N \cdot n_{ij} - n_{i0} n_{0j})^2 / n_{0j}]}{2N^3 - N \cdot \left( \sum_{i=1}^n n_{i0}^2 - \sum_{j=1}^m n_{0j}^2 \right)} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [(N \cdot n_{ij} - n_{i0} n_{0j})^2 / n_{i0}]}{2N^3 - N \cdot \left( \sum_{i=1}^n n_{i0}^2 - \sum_{j=1}^m n_{0j}^2 \right)} \quad (2.82)$$

### 3. ОПТИМАЛЬНІ ГОСПОДАРЧІ СТРАТЕГІЇ СПОЖИВАЧА

#### 3.1 Збитки та їх класифікація. Оцінка збитків та збереження матеріальних коштів

У всіх країнах всі види виробництва в тій чи іншій мірі відчувають залежність від змін, коливань і поточних станів природи. Функціонування об'єктів виробництва, комерційних структур та інших державних і приватних підприємств здійснюється з цієї причини в системі природа-населення-економіка.

Відмінною рисою сучасної економіки є її виборча залежність від гідрометеорологічних умов, особливо від погодних. Звідси вибудовується інша система взаємини природи і суспільства, а саме система **погода (клімат)-прогноз-споживач**. В рамках цієї системи розглядається складний комплекс взаємозв'язків погоди і клімату з суспільством. Система, як бачимо, містить три підсистеми.

Підсистема **погода** – постійне стеження за умовами погоди: візуальне та інструментальне спостереження за станом атмосфери на суші і над водною поверхнею. Підсистема "погода (клімат)" містить не тільки погодний, але і кліматичний фактор, тобто багаторічний режим погоди.

Підсистема **прогноз** – передбачає аналіз і прогноз сприятливих або несприятливих станів атмосфери, виявлення і попередження несприятливих метеорологічних явищ. У цю систему включається вся прогностична продукція. Прогнози погоди є прикладом наукового передбачення, яке можливе лише тоді, коли достовірно відомі закономірності виникнення і розвитку передбачаються явищ і процесів.

Підсистема **споживач** – всі галузі економіки і їх численні складові використовують прогностичну інформацію, як постійно поновлюваний природний ресурс в господарській практиці.

Система погода (клімат)-прогноз-споживач – це складний переважно витратний суспільно-природний механізм з постійним односпрямованим впливом погодо- кліматичних умов. Вікові екологічні зміни клімату в даному випадку до уваги не беруться. Це особлива проблема.

Система погода-прогноз-споживач – один з важливих економічних механізмів розвитку суспільства, що підтверджується зростаючим в останні десятиліття руйнівним впливом на суспільство надзвичайно небезпечних стихійних явищ, які в багатьох країнах викликали економічні, психологічні та соціальні потрясіння.

Прогнози і попередження про несприятливі метеорологічні явища розглядаються не просто як вид послуг, а як неординарна науково-виробнича інформація, обов'язкова для використання у всіх видах діяльності в масштабі держави.



Особлива роль в системі погода-прогноз-споживач відводиться забезпеченню безпеки господарської діяльності та життєдіяльності населення країни. Життєзабезпечення – ось центральна ланка в системі погода-прогноз-споживач, де весь господарський механізм суспільства існує під постійним "наглядом" другого вічного "гравця" – погода і клімату.

Характерною рисою економічної інформації в цих умовах є її природно-господарська специфіка. Вид витрат або вигоди визначається залежністю від погоди і клімату.

Наприклад, якщо це сільськогосподарське виробництво, то вся діяльність споживача (керівників) спрямована на максимальне вилучення користі від забезпечують доходи погодних умов і кліматичних особливостей регіону. Однак в цій галузі економіки передбачені і міри захисту від втрат, переважно в періоди збирання врожаю.

Є такі області виробництва, коли споживачеві доводиться знизити втрати продукції, як виробленої людиною, так і отриманої від природи. Це відноситься до виробництва електроенергії, видобутку лісових ресурсів, органічних ресурсів, харчових ресурсів морів та інших видів ресурсів. Гідрометеорологічні умови найчастіше виступають як природні перешкоди, а значить, викликають втрати і вимагають розробки заходів захисту, що відповідають специфіці виробництва.

**Втрати**, або збитки, по метеорологічним причинам – це матеріальні чи іншого виду втрати в окремій галузі або на окремому виробничому об'єкті, викликані несприятливими погодними умовами при відомих відносинах споживача до захисних заходів.

При оцінці впливу метеорологічних умов використовується така класифікація втрат (збитків).

**Можливі втрати  $L$**  – якщо споживач не має необхідної метеорологічної інформації або її не використовує. Це максимальні втрати (збитки), викликані небезпечним явищем або несприятливим умовою погоди. При використанні прогнозів це будуть втрати, пов'язані з пропуском явища.

**Запобігання втрати  $L_n$**  – частина можливих втрат, які вдається запобігти завдяки успішним прогнозам і за своєчасно вжитим заходам захисту.

**Непредотвращение (реальні) втрати  $L''$**  – та частина максимально можливих втрат, яку не вдається запобігти, незважаючи на вжиті заходи захисту. Втрати (збитки), які несе споживач, часто повністю запобігти неможливо. Це характерно для будь-якої галузі виробництва, в тій чи іншій мірі залежить від погоди і клімату. Ідеальні заходи захисту носять вкрай обмежене застосування для невеликої частини господарського чи інших робіт, для таких споживачів, як морський флот (морські порти, транспортні операції і ін.), будівництво, Сільське господарство, енергетика, заходи

захисту носять частковий характер, т. е. не є кардинальними. Однак непредотвращення втрати потенційно можна попередити.

**Невідворотні втрати  $L_{\text{нп}}$**  – збитки, які неможливо запобігти. Такого роду втрати неминучі навіть при завчасному і успішному прогнозі. Вони відзначаються в сільському і лісовому господарстві, в авіації, в будівництві і в інших галузях. Так, в сільському господарстві сильні вітри зі зливовими дощами і градом можуть принести значні втрати злакових і іншим сільськогосподарським культурам. Тривалі дощі, сильні морози можуть призупинити будівельні роботи. Сильні і тривалі тумани в аеропортах викликають невідворотні втрати в роботі авіації.

У кожній області виробництва споживач повинен знати, які він зазнає втрат (середні та максимальні) в різні сезони залежно від різних явищ і умов погоди.

Реальні втрати можуть бути прямими (руйнування, затоплення, обрив ліній електропередачі і т. п.) і непрямими (простий виробничих об'єктів внаслідок пошкодження ЛЕП через метеоумови).

Величина реальних, непредотвращенних збитків визначається наступними факторами:

1) ступенем впливу (інтенсивністю і тривалістю) небезпечного явища на об'єкт;

2) масштабністю об'єкта впливу;

3) ефективністю заходів захисту;

4) завчасністю і успішністю прогнозів погоди і попереджень про несприятливі метеорологічні явища.

Економічна інформація споживача – це не тільки втрати (збитки, витрати, витрати і т. п.), але і доходи, якщо цьому сприяють погодні умови. Доходи, одержувані споживачем по метеорологічним умовам, – це та користь, яку він витягує з прогностичних відомостей, якщо вивчений погодо-господарський механізм, при якому доходи можливі. Доходи, обумовлені погодою і кліматом, найбільш типові в сільськогосподарському виробництві. Сприятливі погодні умови можуть приносити доходи в роботі рибпромислового флоту, в будівництві і в багатьох інших областях виробництва.

При оцінці корисності прогнозів вирішуються дві певною мірою самостійні завдання. Перша – оцінка успішності прогнозів, друга – визначення їх господарської корисності. Перша і друга завдання вимагають залучення матриці спряженості. Споживач може використовувати рекомендовані гідрометслужби прогнози або віддати перевагу інші. Це право споживача. Однак стратегія довіри прогнозами дозволяє вибрати більш правильне господарське рішення, що враховує вплив погодних умов, і визначити їх економічну корисність.

Економічна інформація, що відноситься до конкретного споживача, дозволяє виконати ряд економіко-метеорологічних операцій як в області прийняття рішень, так і для оцінки економічної корисності прогнозів.

### 3.2 Оцінки економічного ефекту оперативних метеорологічних прогнозів

Вплив погоди і клімату на економічну і соціальну сфери носить всеосяжний характер. Впливу піддаються всі без винятку сфери людської діяльності. Погода і клімат – тільки частина такого роду зовнішнього впливу на діяльність людини в області виробництва і в соціальній сфері. Надалі будемо розглядати економічну корисність, коли вплив погоди і клімату в господарській практиці можна висловити економічними категоріями: втрати, витрати, вигоди.

Залежно від очікуваної погоди або кліматичних умов споживач може прийняти одне з можливих виробничих рішень  $d_k$  в розрахунку на максимальну корисність наступних за ними господарських дій. На підставі відомостей про безліч фактично здійснилися метеорологічних умов  $\Phi$  і безлічі рішень-дія споживача  $d$  встановлюється **функція корисності** прийнятих рішень. У загальному вигляді вона записується так:

$$\theta_{ik} = \theta(\Phi_i, d_k) \quad (3.1)$$

яка залежить від фактичної погоди та прийнятого рішення в розрахунку на певну погоду, що очікується.

де  $\Phi_i$  ( $i = 1, n$ ) – фактична погода з певним значенням метеорологічних умов, здійснилася після закінчення попереднього дії споживача;

$d_k$  ( $k = 1, m$ ) – погодо-господарські рішення і дії споживача в розрахунку на очікувану погоду  $P_j$ .

Спочатку вибирається рішення, згідно очікуванню  $P_i$ , виконується дія  $d_i$ , а потім вже здійснюється деяка фаза погоди  $\Phi_i$ , яка відповідає чи не відповідає очікуванню споживача. Саме ця ступінь відповідності та розкриває корисність обліку прогностичної інформації.

Для будь-якого поєднання в наборі  $(d, \Phi)$  встановлюється деяка корисність як результат обліку одержуваної інформації про погодні та кліматичні умови для даного споживача. Функція корисності характеризує економічні наслідки прийнятих споживачем господарських (виробничих) рішень.

Функція корисності відображає ті витрати або вигоди, які несе або отримує споживач, орієнтуючись на ті чи інші погодні умови. Функція

корисності замикається на два види інформації: на метеорологічну і економічну. З одного боку, це інформація про очікуване стані середовища, з іншого ті економічні наслідки, які відповідають діям споживача в залежності від ступеня адекватності прогнозу  $\Pi$  і факту  $\Phi$ .

Такі рішення споживача, які пов'язані з урахуванням погоди і клімату, називаються погода-господарськими. Вони приймаються в розрахунку отримати користь від застосування прогностичної інформації у вирішенні господарських завдань. Ті рішення, які не пов'язані безпосередньо з впливом погодних і кліматичних умов і які здійснюються в умовах, ізольованих від погоди і клімату, називають просто господарськими.

Функція (3.1) може бути подана у вигляді **функції прибутків**  $u_{ik}$  або **втрат**  $s_{ik}$ .

Якщо  $\theta_{ik}$  мають значення прибутків, то втрати визначаються як

$$s_{ik} = \max_k (\theta_{ik}) - \theta_{ik} \quad (3.2)$$

Якщо  $\theta_{ik}$  мають значення збитків, то втрати визначаються як

$$s_{ik} = \theta_{ik} - \min_k (\theta_{ik}) \quad (3.3)$$

Величина втрат визначається ступенем помилки в рішеннях споживача орієнтуватися на погоду за прогнозом  $\Pi_j$ , тобто різницею значень  $\Pi_j$  та  $\Phi_i$  даної метеорологічної величини:

$$s_{ik} = s(\Phi_i, d_k) = s(\Pi_j - \Phi_i) \quad (3.4)$$

Величина втрат визначається ступенем помилки в рішеннях споживача орієнтуватися на погоду за прогнозом  $\Pi_j$ , тобто різницею значень  $\Pi_j$  та  $\Phi_i$  даної метеорологічної величини:

$$s_{ik} = s(\Phi_i, d_k) = s(\Pi_j - \Phi_i) \quad (3.5)$$

Такі функції втрат називають **різницевиими**. Найчастіше використовують лінійні функції втрат від різниці фактичної та прогностичної погоди:

$$s(\Phi_i, d_k) = \begin{cases} a_1(P_j - \Phi_i), & \Phi < P \\ a_1(P_j - \Phi_i), & \Phi > P \end{cases} \quad (3.6)$$

Функції втрат можуть бути квадратичними, ступеневими тощо. Найчастіше у практиці застосовуються саме функції втрат, а не прибутків, тому що більшість споживачів найчастіше відчують вплив гідрометеорологічних умов як перешкоду, а нормальні умови відповідають рівню нульових втрат.

У рішенні ряду метеоролого-економічних завдань, таких як розробка погодо-господарського регламенту прийняття рішень, вибір оптимальних рішень і стратегій, розробка ресурсозберігаючих технологій, в основному використовується функція втрат.

В економіці України, як і в економіці інших країн, втрати по метеорологічним причин постійно зростають, що пов'язано зі збільшенням повторюваності небезпечних гідрометеорологічних явищ.

Умови погоди надають несприятливий впливу на всі галузі економіки, особливо виробничої сфери. Звідси виникає необхідність широкого використання функції втрат. Крім того, береться до уваги відомий постулат: "Служба прогнозів перш за все необхідна для запобігання втрат по метеорологічним умовам".

Рішення споживача, яке забезпечує йому мінімальні втрати або максимальні прибутки, називається оптимальним  $d_{opt}$ .

Фактична погода щораз підтверджує або спростовує обране рішення. Частота таких підтверджень або спростовань дозволяє встановити успішність рішення в цілому. На підставі гідрометеорологічної інформації та досвіду реакцій на неї, споживач згодом виробляє лінію поведження, що називають *господарчою стратегією*.

Рішення споживача – це варіант його одноразового поведження. Господарча стратегія – це загальний принцип поведження споживача, алгоритм дій для оптимізації його господарчих заходів з урахуванням очікуваної погоди.

**Оптимальною** називається стратегія  $S^{opt}$ , яка при заданому наборі фаз фактичної погоди  $\Phi_j$  та прийнятих рішень  $d_k$  забезпечує споживачеві мінімум втрат або максимум прибутків.

Якщо очікуваній фазі погоди відповідає тільки одне рішення, то стратегія носить детермінований характер і називається чистою стратегією. Наприклад, виробітку тепла ТЭЦ планується в повній відповідності з очікуваними змінами температури. Якщо рішення, що відповідає очікуваній фазі погоди, із сукупності інших можливих рішень, то така стратегія називається *змішаною*. Оптимальною стратегією є така, що забезпечує

споживачеві постійний економічний ефект у порівнянні з іншими стратегіями.

Критерії оптимальності стратегії засновані на оцінках середніх втрат. *Середніми* називають втрати  $\bar{R}$ , що усереднені по деякому часовому ряді втрат  $R_j$  у кожному випадку прогнозу, якого споживач матиме за певних умов. *Середніми нормованими втратами* називають середні втрати в розрахунку на одиницю збитку:

$$E = \frac{\bar{R}}{L} \quad (3.7)$$

### 3.2.1 Оптимізація рішень на підставі альтернативного прогнозу

Корисність є здатність будь-якого виду продукції задовольняти запропонованим до неї вимогам. Ця найважливіша властивість вироблених у суспільстві матеріальних цінностей виявляється тільки в процесі їхньої реалізації в практику. Гідрометеорологічна інформація як особливий вид суспільно необхідної продукції історично набула універсального призначення. Протягом більш ніж 100-літнього досвіду її використання вже склалися цілком визначені форми та сфери застосування.

З усіх видів інформації про стан природного середовища найбільшу цінність мають фактичні дані про стан погоди та результати їх аналізу (35,9%), а також прогнози погоди (35,6%). Частка режимних матеріалів у загальній цінності гідрометеорологічної інформації складає лише 11,0%. Тому варто переважно розглядати фактичну та прогностичну інформацію.

Можна визначити дві основні категорії цінності гідрометеорологічних прогнозів – інформативність та економічну корисність. Інформативність визначається за допомогою оцінки кількості прогностичної інформації. Таким чином дається характеристика також якості прогнозів. При цьому необхідно врахувати, що інформативність метеорологічних прогнозів тим більша, чим більше роздрібнення прогнозованого стану середовища на окремі фази та чим більше відтинки часу їх здійснення. Більш інформативні прогнози дозволяють глибше зрозуміти можливості їх практичного використання.

Як часткові показники інформативності, використовуються також різноманітні критерії, наприклад, критерій надійності прогнозів, критерій точності прогнозів тощо.

Корисність є цільовою ознакою цінності. Будь-яка гідрометеорологічна інформація є певною мірою корисною, тому що не тільки розширює область знання, але також сприяє розв'язанню практичних задач більш цілеспрямовано. Корисність прогнозів зростає з підвищенням

їх інформативності щодо очікуваних явищ або станів погоди, включаючи їх більш високу дискретність, а також інші відомості, що мають господарчий інтерес.

Як бачимо, цінність інформації, зокрема прогнозів, виражається через її інформативність – змістовність прогностичних відомостей, а стосовно виробничих об'єктів – через їх корисність. Корисність прогнозів, таким чином, визначається в процесі її реалізації. Корисність прогностичної інформації може згодом змінюватися. Технічне вдосконалення споживача супроводжується зміною вимог до прогнозів. Виникає необхідність прогнозування нових характеристик погоди. Отже, прогнози колишньої якості можуть втрачати свою корисність.

У практичних задачах кінцевим результатом корисності прогнозів є прибуток, який дозволяють досягти метеорологічні прогнози в певній сфері людської діяльності, як-то соціальній, економічній, а також при рішенні спеціальних задач. У соціальній сфері не завжди є можливим дати кількісну оцінку вигоди від використання прогнозів. У виробничій сфері корисність метеорологічних прогнозів знаходиться за допомогою визначення двох основних показників економічної корисності: *економічного ефекту* та *економічної ефективності*.

**Економічний ефект** є мірою цінності прогнозів, що досить точно відбиває здатність задовольняти виробничі запити споживачів. Він забезпечує змістовність зворотної інформації – в якій мірі прогнози дійсно були корисні.

**Економічна ефективність** показує, яку частку в економічному ефекті складають витрати на прогнози.

Будемо надалі користуватися не матрицями метеорологічних втрат, а просто матрицями втрат споживача, елементами якої є  $s_{ij}$ . Матриця втрат (3.2.8) розробляється разом із споживачем та для практичних цілей рекомендується в табличному вигляді.

Скористаємося байєсовським підходом для оцінки середніх втрат .

Споживач, що отримує текст прогнозу, може прийняти одне з двох рішень,  $d$  або  $\bar{d}$ . Якщо споживач приймає рішення  $d$  (вживати запобіжні заходи), то середні втрати складатимуть:

$$\bar{R}_{11} = R(d / \Pi) = s_{11}q_{11} + s_{21}q_{21} \quad (3.8)$$

а якщо він не довіряє тексту прогнозу, вони будуть дорівнювати

$$\bar{R}_{21} = R(\bar{d} / \Pi) = s_{12}q_{11} + s_{22}q_{21} \quad (3.9)$$

При використанні тексту прогнозу  $\bar{\Pi}$  відповідно одержимо:

а) при рішенні  $d$

$$\bar{R}_{12} = R(d / \bar{\Pi}) = s_{11}q_{12} + s_{21}q_{22} \quad (3.10)$$

б) при рішенні  $\bar{d}$

$$\bar{R}_{22} = R(\bar{d} / \bar{\Pi}) = s_{12}q_{12} + s_{22}q_{22} \quad (3.11)$$

На підставі (3.8)-(3.11) складемо матрицю умовних (систематичних) втрат:

	$\Pi$	$\bar{\Pi}$
$d$	$\bar{R}_{11}$	$\bar{R}_{12}$
$\bar{d}$	$\bar{R}_{21}$	$\bar{R}_{22}$

Якщо за прогнозами  $\Pi$  та  $\bar{\Pi}$  елементи матриці умовних втрат  $\bar{R}_{ij}$ , відповідно  $\bar{R}_{11}$  та  $\bar{R}_{22}$  приймають мінімальне значення, то рішення  $d$  при тексті  $\Pi$ , а також  $\bar{d}$  при тексті  $\bar{\Pi}$  є оптимальними рішеннями.

Крім оперативних методичних прогнозів споживач може орієнтуватися на стандартні прогнози. Виникає необхідність перевірити таку можливість із погляду вибору оптимальної стратегії.

За наявності альтернативних методичних прогнозів, узагальнених у вигляді матриці спряженості та матриці втрат середні втрати за використанням методичних прогнозів складатимуть:

$$\bar{R}_M = \sum_{j=1}^{m=2} p_{0j} R_{\min}(\Pi_j) \quad (3.12)$$

де  $R_{\min}(\Pi_j)$  – мінімальні умовні (систематичні) втрати.

Якщо в матриці втрат виконуються нерівності  $\bar{R}_{11} < \bar{R}_{21}$  та  $\bar{R}_{11} < \bar{R}_{12}$ , що відповідає оптимальним рішенням, то такі прогнози заслуговують довіри. У цьому значенні можна говорити про стратегію довіри оперативним методичним прогнозам. Зауважимо, що для ідеальних прогнозів ці нерівності виконуються постійно.

Розкриваючи в (3.12)  $\bar{R}_{11}$  та  $\bar{R}_{22}$ , можна записати

$$\bar{R}_M = \frac{1}{N} (s_{11}n_{11} + s_{12}n_{12} + s_{21}n_{21} + s_{22}n_{22}) \quad (3.13)$$

Так виглядає умова досягнення мінімуму середніх втрат.



Якщо мінімальними в матриці втрат є елементи  $\bar{R}_{21}$  та  $\bar{R}_{12}$ , мінімум середніх втрат буде дорівнювати  $s_{12}p_{10} + s_{22}p_{20}$ , тобто  $\bar{R}_2^{kl}$ . Такі прогнози не можуть користуватися довірою, а кінцевий результат втрат зводиться до середніх втрат, що відповідають стратегії зневаги  $S_2^{kl}$ .

Якщо ж мінімум умовних утрат припадає на  $\bar{R}_{11}$  та  $\bar{R}_{12}$ , то втрати дорівнюватимуть  $s_{11}p_{10} + s_{21}p_{20}$ , тобто  $\bar{R}_1^{kl}$ , що також виключає довіру до прогнозів і відповідає стратегії постійного захисту  $S_1^{kl}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маринін І. Л. Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України. Конспект лекцій – Дніпропетровськ «Економіка» – 2005. – 105с.
2. Настанова з метеорологічного прогнозування – Керівний документ Українського гідрометеорологічного центру – Київ – 2019.
3. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология. Учебник. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. –
4. Хандожко Л.А. Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 231 с.
5. Хандожко Л. А. Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 311 с.

Навчальне електронне видання

ВОЛОШИНА ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

ПІДПРИЄМНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ  
розділ “Економіка гідрометеорологічного забезпечення  
господарства України”

Конспект лекцій

**Видавець і виготовлювач**

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: [info@odeku.edu.ua](mailto:info@odeku.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016