

**В.Г. ГОЛОВАНЬ**

**ЕКОНОМІКА  
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В.Г. ГОЛОВАНЬ

**ЕКОНОМІКА  
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ**

Конспект лекцій

Одеса - 2012



ББК – 32.844

Г – 60

УДК – 551.509.59(075.8)

*Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету ( протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_. \_\_\_\_.2012 р.).*

**Головань В.Г.**

Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України: Конспект лекцій. -Одеса 2012. - 94с.

В конспекті лекцій розглянуті основні підходи щодо оцінювання економічної ефективності гідрометеорологічного забезпечення господарства України. Конспект лекцій використовується для студентів денної форми навчання напрямку “Технічні системи гідрометеорологічного моніторингу”.

© Одеський державний  
екологічний університет, 2012



## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
<b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Предмет, основні завдання, зміст та схема гідрометеорологічного забезпечення .....	7
1.2 Форми гідрометеорологічного забезпечення.....	9
1.3 Основні види метеорологічної інформації для господарства.....	11
1.4 Вимоги до метеорологічних прогнозів та їх класифікація.....	13
1.5 Споживачі метеорологічних прогнозів.....	21
1.6 Напрями використання гідрометеорологічної інформації.....	25
<b>2 ОЦІНКА СПРАВДЖУВАНOSTІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗІВ.....</b>	<b>29</b>
2.1 Умови оцінки прогнозів погоди і вимоги, що до них надаються.....	30
2.2 Призначення оцінки прогнозів погоди з урахуванням вимог споживачів.....	30
2.3 Оцінка справджуваності окремих метеовеличин і явищ погоди.....	31
<b>3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ</b>	<b>43</b>
3.1 Основні поняття .....	43
3.2 Економічна ефективність наукових досліджень.....	48
3.3 Економічна ефективність метеорологічних прогнозів.....	51
3.3.1 Принципи формування витрат на гідрометеорологічну інформацію та гідрометеорологічну продукцію.....	51
3.3.2 Розрахунок ціни гідрометеорологічної інформації й гідрометеорологічна продукція.....	53
3.3.2.1 Розрахунок ціни первинної гідрометеорологічної інформації	54
3.3.2.2 Розрахунок ціни прогностичної продукції.....	54
3.3.2.3 Розрахунок ціни режимно-довідникової продукції.....	55
3.4 Умови оцінки економічного ефекту прогнозів погоди.....	56
3.5 Параметри оцінки економічного ефекту прогнозів погоди.....	59
3.5.1 Економічний ефект за повною довірою до прогнозів погоди...	63
3.5.2 Економічний ефект від попереджень про небезпечні явища й особливо небезпечні явища погоди.....	65

<b>4</b>	<b>ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГОСПОДАРЧИХ РІШЕНЬ НА ПІДСТАВІ ПРОГНОЗІВ ПОГОДИ.....</b>	<b>67</b>
4.1	Оптимальна стратегія споживача при використанні гідрометеорологічної інформації для вирішення господарських завдань.....	67
4.2	Умови оптимального поведіння споживача.....	71
<b>5</b>	<b>ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ АКТИВНИХ ВПЛИВІВ.</b>	<b>79</b>
5.1	Метод порівняння збитку на контрольній території і території, що захищається.....	79
5.2	Поняття про собівартість і рентабельність протиградових заходів.....	80
5.3	Показники ефективності протиградового захисту.....	81
<b>6</b>	<b>ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ.....</b>	<b>84</b>
6.1	Оцінка внеску інформації метеорологічних радіолокаторів в економічний ефект.....	84
6.2	Оцінка витрат на придбання і установку метеорологічних радіолокаторів.....	88
6.3	Оцінка вартості експлуатації метеорологічних радіолокаторів.....	89
	ЛІТЕРАТУРА.....	94

## ПЕРЕДМОВА

Економічний інтерес суспільства, що історично склався, до погоди, особливо до очікуваного її стану, є об'єктивна реалія, викликана залежністю діяльності людини від навколишнього середовища(НС), зокрема від гідрометеорологічних (погодних і кліматичних) умов.

Багатовікова адаптація людства до НС, насамперед до проявів погоди, а згодом наукові дослідження і освоєння НС дозволили вийти на рівень теоретичного і практичного пізнання економічної корисності метеорологічної інформації (МІ).

Суттєва особливість практичної метеорології, як і гідрометеорології в цілому, складається з того, що вона не створює матеріальні цінності, але сприяє ефективному використанню гідрометеорологічних ресурсів, забезпечує підприємницькі інтереси економіки і підвищує безпеку людей, створює більш сприятливі умови їх життя та праці. Впровадження наукових методів використання фактичної та прогностичної інформації про НС дозволяє зменшити збитки в економіці і соціальній сфері.

В усіх галузях економіки не викликає сумніву господарська доцільність використання відомостей щодо змін метеорологічних умов. Однак інформованість споживачів щодо вигоди застосування МІ є недостатньою. Це призводить до того, що вони не можуть самостійно визначати необхідний вид та достатній обсяг МІ, обирати оптимальний спосіб її використання, а зрештою зазнають втрат, яких можна було б уникнути.

Рішення, які приймаються у практиці господарювання, мають двоякий зміст. Деякі, що спрямовані на досягнення господарських цілей, не пов'язані з погодними умовами (це чисто господарські рішення). Інші безпосередньо пов'язані з урахуванням метеорологічних факторів. Споживачу МІ важливо не тільки своєчасно вживати заходів щодо захисту у відповідності з попередженням про небезпечні гідрометеорологічні явища (НЯ) або несприятливі гідрометеорологічні явища (НГЯ), але постійно і ефективно вживати господарських заходів з урахуванням очікуваної погоди. Такі оперативні рішення споживача мають назву погодно-господарських.

Економіка гідрометеорологічного забезпечення (ГМЗ) господарства розглядає ті господарські рішення, які враховують вплив погоди і клімату.

Оптимальні шляхи реалізації прогнозів, наукова технологія їх використання дозволяють отримати додаткову продукцію, економію сировини та енергоресурсів, фінансових та інших коштів.

Істотний негативний вплив погодних і кліматичних (в цілому гідрометеорологічних) умов на економіку, необхідність захисту від такого впливу і зниження соціально-економічних втрат підтверджують



доцільність урахування зовнішніх погодних умов на державному рівні.

У той же час перехід економіки України на ринкові стосунки потребує до необхідності тіснішої взаємодії із споживачами гідрометеорологічної інформації (ГМІ). Це пов'язано з тим, що в ринкових умовах гідрометеорологічна продукція (ГМП) Державної гідрометеорологічної служби України (ДГМСУ) є товаром, який має попит. При цьому споживач почав купувати не інформаційну продукцію як таку, а ті вигоди, які вона дає при умові використання в економічній і соціальній сферах. В результаті зростає необхідність збільшення економічної корисності як самої ГМП, так і правильного її використання.

Саме цими чинниками зумовлюється актуальність дисципліни „Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України”.

Сучасне ГМЗ галузей економіки України охоплює практичне використання усього різноманіття інформаційної продукції ДГМСУ. В той же час результати досліджень показали, що близько 42% запитів споживачів складає МІ, а прогностична продукція дорівнює 63,6% від загального обсягу запитів. Це дозволяє стверджувати, що цінність метеорологічних прогнозів є пріоритетною відносно інших виглядів інформаційної продукції, тобто підтверджується економічна значущість прогнозів погоди і те, що прогнози погоди і попередження про НГЯ стали універсальною виробничою і соціальною потребою та повинні розцінюватися не просто як вид послуг, а як деякий неординарний вид науково-виробничої інформації, обов'язкової для використання.

Тому в конспекті лекцій здебільшого вигляділені метеорологічні аспекти, а основний акцент зроблено на аналіз економічної корисності метеорологічних прогнозів.

Необхідно усвідомлювати що ГМЗ галузей економіки України здійснюється за системою «Погода - прогноз - споживач», яка ідентифікує метеорологічні прогнози як постійно поновлюваний інформаційний ресурс науково-виробничого змісту. У такій системі вони розглядаються як потенціал суспільства, що історично склався, використовується з метою забезпечення його раціональної діяльності. Його правильна реалізація безпосередньо вигідно впливає на економічні і соціальні наслідки, що дозволяє, з одного боку, запобігти матеріальним втратам в економіці і зменшити загрозу життю людей, а з іншого боку, отримати матеріальну вигоду. Ці два основні положення зумовили ефективне залучення метеорологічних прогнозів до практики економіки.

Розгляду цих і інших суміжних питань присвячений конспект лекцій.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

Розвиток сучасного господарського сектора неможливо уявити без урахування поточного і очікуваного стану НС.

Практично немає такої галузі господарства, яка прямо чи побічно, постійно чи тимчасово не зазнавала би впливу метеорологічних умов. Ступінь такого впливу різний. Усе залежить від рівня організації виробництва, конкретного об'єкта, що підпадає під вплив погоди, і заходів, доступних споживачу, щоб протидіяти НЯ і НГЯ погоди.

Прямий вплив метеорологічних умов на виконання виробничих чи господарських робіт виявляється тоді, коли вони безпосередньо залежать від метеорологічних умов.

Непрямий вплив метеорологічних умов має місце тоді, коли виробничий процес має залежність від побічних виробничих операцій, які безпосередньо залежать від погоди.

Ряд виробничих операцій на транспорті, у промисловому і цивільному будівництві, при виконанні сільськогосподарських робіт зазнають постійного впливу погоди. Інші, як, наприклад, вантажно-розвантажувальні роботи в порту, на залізничній станції, експедиційні і пошукові заходи, підпадають лише під тимчасовий вплив.

Усі метеорологічні величини, явища погоди і кліматичні характеристики складають складний набір позитивних і негативних метеорологічних факторів. В різних галузях людської діяльності вони проявляються у вигляді фізичних процесів впливу на ту чи іншу галузь виробництва і спричиняють як сприятливі, так і несприятливі наслідки.

Вся інформація про стан метеорологічного середовища, що надходить до споживача, складає основу ГМЗ як постійного й обов'язкового процесу функціонування економіки і соціальної сфери.

## 1.1 Предмет, основні завдання, зміст та схема гідрометеорологічного забезпечення

Гідрометеорологічне забезпечення – це багаторівнева науково – виробнича форма діяльності ДГМСУ, яка на рівні центральної установи здійснює взаємодію з відповідними міністерствами, відомствами і іншими організаціями, зацікавленими у метеорологічній інформації.

**Предметом** гідрометеорологічного забезпечення є:

- урахування впливу метеорологічних умов;
- урахування впливу режимних характеристик на різні галузі господарства;
- оцінка корисності МІ;

- розробка методів найбільш раціонального використання МІ.

**Основними завданнями** метеорологічного забезпечення є:

- завчасне попередження про настання НЯ і особливо небезпечних (ОНЯ) явищ погоди;

- складання щоденних прогнозів погоди, що дозволяють раціонально планувати господарські заходи;

- надання зацікавленим організаціям кліматичної інформації, яка необхідна для успішного планування, проектування і будівництва.

Особливе значення мають **соціальні аспекти** метеорологічного забезпечення (МЗ). Так, кліматичні і метеорологічні умови поряд з іншими природними факторами враховуються при розробці і реалізації планів економічного і соціального розвитку. Важлива роль завчасних попереджень населення про ОНЯ. Використовуються прогнози погоди при вживанні заходів щодо захисту повітря від промислових і транспортних забруднень і запобіганню їхніх шкідливих наслідків для людей.

Треба відзначити, що найбільшу цінність, виходячи з попиту і масштабності використання, мають метеорологічні прогнози. Усі прогностичні підрозділи, що розробляють прогнози різної тривалості, здійснюють метеорологічне забезпечення за **загальною схемою** “кому, що, скільки, куди і навіщо”.

**Зміст** ГМЗ суб'єктів господарювання оформлюють у вигляді переліку завдань, що виконує оперативний прогностичний підрозділ (виконавець) за запитом споживача (замовника) і узгоджений з ним.

Вони включаються у договір щодо надання інформаційних (консультаційних) послуг. При цьому досягається згода між бажанням споживача і можливістю постачальника в розробці тієї чи іншої спеціалізованої продукції.

Гідрометеорологічне забезпечення включає метеорологічне, гідрологічне і агрометеорологічне забезпечення. У подальшому будемо розглядати тільки МЗ з агрометеорологічною інформацією включно.

Загальна **схема** МЗ, що входить до договору, містить:

- вид інформації, яка надається споживачу;

- район забезпечення (обслуговування);

- терміни дії прогнозів (прогностичний період);

- термін подання прогнозів (час передачі);

- відповідальних за складання і доведення прогностичної інформації

- до споживача, а також інші питання інформаційного забезпечення.

В схему включають вимоги споживача до “штормової” інформації – розробки попереджень про НЯ та ОНЯ.

З метою подальшого розвитку МЗ необхідно постійно вивчати й удосконалювати форми взаємозв'язку служби прогнозів і споживача МІ для більш повного задоволення його запитів.

## 1.2 Форми гідрометеорологічного забезпечення

Розрізняють такі **форми ГМЗ**:

- оперативну;
- нормативну;
- активні впливи на атмосферні процеси.

**Оперативне ГМЗ** є сукупністю робіт, спрямованих на повсякденне забезпечення метеорологічними даними і, насамперед, прогнозами погоди суб'єктів господарювання. Воно здійснюється оперативними підрозділами служби погоди. До них відносяться: відділи короткострокових і довгострокових прогнозів, територіальні бюро погоди (БП), авіаметеорологічні станції (АМСГ), гідрометеорологічні бюро (ГМБ), гідрометеорологічні обсерваторії (ГМО) і гідрометеорологічні станції (ГМС). В окремих випадках, наприклад, при будівництві великих гідротехнічних споруджень чи експлуатації глибоких кар'єрів, організуються спеціальні метеорологічні станції.

**Нормативне ГМЗ** полягає у визначенні і впровадженні в практику кліматичних характеристик усілякого призначення. Отримані кліматичні норми, імовірнісні і спектральні розподіли значень метеорологічних величин, їхніх комплексів чи явищ погоди є квазіпостійними стандартами. Вони застосовуються в перспективному плануванні, у промисловому і житловому будівництві, в інженерних розрахунках і т.п. Основна мета використання нормативних даних — побудувати об'єкт більш довговічним, найменш залежним від умов погоди, та з мінімальною витратою коштів.

Розробкою нормативних даних стосовно до різних завдань займаються переважно науково-дослідні організації.

Метеорологічне забезпечення деяких галузей із залученням **активних впливів** на атмосферні процеси носить епізодичний характер і далеко не повсюдне, однак економічний ефект від такої форми забезпечення дуже великий. Найбільші успіхи досягнуті у запобіганні градобою.

Форми МЗ постійно удосконалюються і залежать від рівня наукових знань про атмосферу, науково-технічного прогресу і попиту споживачів.

Таким чином, з урахуванням оперативного і нормативного забезпечення, можна зробити висновок, що дані про фактичну чи прогнозовану погоду, тимчасові і просторові характеристики стану атмосфери, кліматичні дані, що наведені в щорічниках, атласах і інших довідкових джерелах, є МІ.

Необхідна МІ повідомляється споживачу. Споживач має потребу у своєчасному одержанні такої МІ, особливо прогнозів погоди. Вони повинні бути зрозумілі йому і мати добру справджуваність. За результатами отриманої МІ споживач буде шукати найбільш вигідний варіант виробничого процесу чи господарських або суспільних заходів.

Постачальниками МІ є ДГМСУ, його оперативні виробничі підрозділи і науково-дослідні установи (НДУ), які здійснюють оперативне і нормативне МЗ. Територія, що обслуговується управліннями ДГМСУ, визначається адміністративно-економічним районуванням. Кожне управління відрізняється специфікою МЗ в залежності від провідних виробничих комплексів економічного району.

Незважаючи на переважний розвиток визначеної галузі господарства на території даного управління МЗ залишається, в основному, багатогалузевим. З одного оперативного прогностичного підрозділу (БП, ГМБ чи ГМО) здійснюється МЗ різних організацій. Тільки цивільна авіація в цьому відношенні зберігає пріоритет. Тут МЗ виконується постійно в умовах найбільш наближених до виробничої діяльності споживача.

Спирається МЗ на виробничий взаємозв'язок та двосторонній обмін інформацією між постачальником і споживачем МІ. Це зумовлено тим, що прогнози погоди поки що не є досить точними і їхні формулювання містять тільки частку того, що відомо тому, хто прогнозує можливі зміни погоди. У зв'язку з цим деякі споживачі використовують прогнози формально. Щоб уникнути цього, їм необхідні постійні консультації. З іншого боку, метеоролог, як постачальник МІ, повинен знати, для яких конкретних виробничих цілей використовується прогноз, яка специфіка роботи даного споживача. Тільки в цьому випадку його консультації про фактичні чи майбутні метеорологічні умови будуть корисні для споживача.

Особливе місце приділяють методам оцінки економічного ефекту МІ.

Для ефективного використання МІ необхідно всебічно вивчати:

- вплив метеорологічних умов на широкий спектр практичної діяльності людини;
- можливість теоретичних розробок і методів оптимального застосування метеорологічних зведень у господарській діяльності, в технологічних і технічних рішеннях;
- методи чисельних оцінок економічної корисності використання МІ у різних галузях економіки;
- теоретичні моделі урахування основних показників впливу погодних і кліматичних умов у господарських програмах регіонального масштабу з метою досягнення стійкого розвитку суспільства.

Тільки в господарській практиці, як бачимо, розкривається економічний зміст МІ.

Щоб визначити економічний ефект прогнозів погоди, необхідно знати розміри дійсних чи можливих збитків за несприятливих умов погоди.

Збитки — це матеріальні втрати, виражені, головним чином, у грошовому вимірі. Між збитками і точністю метеорологічних прогнозів існує прямий зв'язок. На цій підставі вирішується завдання оптимального

використання МІ. Для цього визначають економічно ефективний варіант використання її в конкретній галузі господарства.

Ефективне використання метеорологічних прогнозів можливо в тому випадку, якщо вони мають досить високу справджуваність. Справджуваність прогнозів відбиває ступінь адекватності їхніх формулювань фактичним умовам погоди. Для оцінки справджуваності застосовуються різні критерії.

Корисність МІ, а прогнозів погоди особливо, визначається не тільки її якістю, але й вмінням споживача найбільш ефективно її використовувати. Не всяке рішення споживача на підставі прогностичної інформації буде мати успішний результат. Однак він буде прагнути звести до мінімуму не тільки число невдалих рішень, але й їхні несприятливі економічні наслідки. Тому споживач разом з метеорологом на підставі метеорологічної і техніко-економічної інформації повинен виробити оптимальну стратегію, тобто такий принцип виробничих рішень, при якому він одержує максимальний економічний ефект від використання метеорологічних даних. При цьому забезпечення безпеки виконання виробничих робіт і заходів є головною задачею використання прогнозів.

### **1.3 Основні види метеорологічної інформації для господарства**

Метеорологічна інформація, яка надходить безпосередньо від мережі метеорологічних, аерологічних, радіолокаційних і інших спеціальних станцій, ШСЗ, літаків і інших джерел і включає дані спостережень за метеорологічними характеристиками і явищами погоди у всій товщі атмосфери, є первинною метеорологічною інформацією.

Вона повинна відповідати наступним головним вимогам:

- використання уніфікованих сучасних засобів і способів спостереження, передачі з мінімально припустимими помилками і втратами інформації;

- одержання таких даних метеорологічних спостережень (у земної поверхні і на висотах), які адекватно відображали б стан атмосфери та фізичні процеси, які в ній відбуваються, для забезпечення можливості правильних висновків щодо поточної та майбутньої погоди;

- передача інформації уніфікованим цифровим кодом, що дозволяє дешифрувати метеорологічні зведення з однорідним змістом;

- мати велику швидкість і мобільність передачі в центри збору.

На жаль, ці вимоги виконуються ще не повністю, що прямо позначається на якості прогнозів.

В системі ДГМСУ наряду с метеорологічною і гідрологічною інформацією одержують і екологічну інформацію.

Повна програма спостережень за станом середовища здійснюється в рамках ДГМСУ і може включати до 30 виглядів ГМІ.

Кожна програма спостережень спрямована на отримання певного виду інформації, що передбачає наявність спеціальних пунктів спостережень, станцій і лабораторій.

Метеорологічна інформаційна продукція включає в основному такі види інформації: метеорологічну, авіаметеорологічну, актинометричну, тепло балансову, аерологічну, радіометеорологічну, агрометеорологічну, озонметричну, атмосферної електрики.

Первинна МІ може бути регулярною – систематичні спостереження за станом погоди, і нерегулярною – спостереження за спеціальним призначенням (штормові попередження, метеорологічні спостереження за запитами, за епізодичними програмами).

На підставі первинної інформації розраховуються кліматичні характеристики, а також усі види метеорологічних і агрометеорологічних прогнозів, тобто вторинна інформація.

Вторинна інформація є узагальненням МІ, яке дозволяє зробити висновок про метеорологічний режим, про поточні зміни і майбутній стан атмосферних процесів і погоди.

Особливе значення при цьому має цінність використовуваної інформації, яка охоплює ряд таких понять, як значущість (вплив на якість рішень), вживаність (частота використання), своєчасність (можливість старіння інформації), вірогідність (ступінь визначеності результатів), корисність (економічна доля в вирішенні виробничого завдання).

Споживачі в найбільшій ступені зацікавлені в отриманні даних про фактичні і прогностичні умови погоди, включаючи спеціалізовані прогнози, що в підсумку складає 83,3 % інформації. Вторинна інформація дозволяє зробити висновок про метеорологічний режим, про багаторічні особливості виміру тих або інших метеорологічних величин, про поточні та майбутні виміри атмосферних процесів.

Виділяють два класи МІ. Перший клас МІ, призначений для спеціалізованого МЗ галузей економіки, окремих виглядів виробничих робіт, включає:

- інформацію, що має нормативний зміст: середні, екстремальні, імовірнісні й інші статистичні характеристики метеорологічних величин і явищ погоди;

- прогнози погоди;

- попередження про НЯ й ОНЯ;

- характеристики, які розраховані за тими чи іншими функціональними чи кореляційними залежностями з величинами вимірів і є необхідними для перспективного планування і проектування.

До другого класу відносять МІ консультативного призначення:

- прогнози загального користування;

- прогнози погоди на місяць;

- поточна інформація про стан погоди;

- різного роду довідки, огляди і консультації.

До МІ ставляться вимоги, які пов'язані з підвищенням не тільки точності спостережень, але і точності визначення просторових і часових інтервалів спостережень (дискретності) за досліджуваними процесами різного масштабу. Мінливість полів метеорологічних величин є головним обмеженням у вирішенні цієї задачі.

Внаслідок визначених витрат на метеорологічні спостереження, одержувана первинна інформація носить вартісне вираження. Щоб одержати точні і надійні дані про стан атмосфери, необхідні досконалі прилади, достатня щільність станцій і частота спостережень.

Усі види первинної і вторинної інформації створюють Державний фонд даних про стан навколишнього природного середовища.

Економічний ефект від використання ГМІ з фонду складається з:

- скорочення витрат на одержання й обробку гідрометеорологічних даних, необхідних при проектуванні;
- скорочення витрат на будівництво різних об'єктів у результаті використання більш обґрунтованих нормативних характеристик;
- одержання додаткової продукції в сільському господарстві, в енергетиці, при видобутку корисних копалин і т.п.

Потоки вихідної МІ щодня поступають в прогностичні центри, в яких виконується розробка прогнозів різних виглядів і призначень. Ця інформація включається в закордонний обмін, що є неодмінною вимогою більш повного аналізу макросиноптичних процесів на великих територіях континентів і акваторіях океанів в цілях успішного короткострокового, середньострокового і довгострокового прогнозування погоди.

#### **1.4 Вимоги до метеорологічних прогнозів та їх класифікація**

В залежності від об'єкта вивчення розрізняють науково – технічні, природознавчі і суспільствознавчі (соціальні) прогнози. При розробці цих типів прогнозів між ними існує постійний інформаційний взаємозв'язок. Сполучною ланкою завжди виступає інформація про стан природного середовища. Важливе місце в ній займають метеорологічні прогнози, які відносяться до природознавчих. Метеорологічні прогнози містять в стислій формі інформацію про майбутній стан погоди, необхідну для прийняття економічно вигідних рішень стосовно виробничих завдань на основі оптимального урахування очікуваних метеорологічних умов.

Для прогнозування майбутнього стану погоди використовують моделювання атмосферних процесів як на базі їх синоптичного аналізу, так і шляхом залучення рівнянь термодинаміки атмосфери. Для конкретного прогнозу окремих метеорологічних величин і явищ погоди використовують індивідуальні методи прогнозування або їх комплексування. Застосування сукупності методів, способів прогнозування, різних правил і рекомендацій дозволяє розробляти прогноз погоди в цілому. Оперативні метеорологічні прогнози містять інформацію про комплекс очікуваних значень метеорологічних величин і явищ погоди.



В господарській практиці багатьох споживачів цікавить лише окремі складові погоди: це може бути швидкість і напрямок вітру, або температура повітря, або окремі явища погоди. Залежно від специфіки і складності виробничих операцій виникає необхідність знання майбутнього стану певного комплексу метеорологічних величин (двох – трьох складових погоди).

Прогностична інформація має найбільшу функціональну цінність серед усіх виглядів МІ. Згідно дослідженням Г.П. Вимберга та П.П. Бойцова, встановлено, що цінність метеорологічних прогнозів перевищує 70% (табл. 1.1), за умови аналізу результатів вихідного стану погоди.

Таблиця 1.1- Функціональна цінність виглядів МІ

Вид інформації	Цінність, %
Фактичні дані про стан погоди за реальним часом	18,4
Дані про небезпечні явища погоди	11,8
Результати аналізу фактичного стану погоди	17,5
Короткострокові прогнози погоди	15,4
Довгострокові прогнози погоди	6,6
Прогнози спеціального призначення	13,6
Результати розрахунку параметрів середовища на ЕОМ	5,7
Статистико – кліматологічні довідки і режимні посібники	11,0
Усього	100,0

Метеорологічні прогнози у господарській практиці є природо – інформаційним ресурсом, що забезпечує оптимальні дії споживача та дозволяє мінімізувати витрати в випадку несприятливого впливу погоди і максимізувати вигоди за рахунок сприятливих метеорологічних умов.

Сучасні метеорологічні прогнози розроблюються на основі двох наукових підходів: статистичного (фізико–статистичного дослідження на базі синоптичних даних) і гідродинамічного, заснованого на розв’язання системи рівнянь гідродинаміки. Другий підхід грає все більш значну роль.

В синоптичній практиці розробка прогнозів погоди виконується з використанням чисельного прогнозу метеорологічних полів: тиск повітря у земної поверхні ( $p_0$ ); геопотенціальних висот ( $H_{850}$ ,  $H_{700}$ ,  $H_{500}$  та ін.); вітру (напрямок і швидкість); температури повітря в нижній частині тропосфери ( $OT_{500/1000}$ ). Безпосередня розробка очікуваних умов погоди базується на синоптичному методі, що включає аналіз і прогноз переміщення повітряних мас, атмосферних фронтів, циклонів (антициклонів) та їх еволюцію.

Для прогнозів погоди необхідна інформація трьох категорій:

- фонові (глобальні);

- регіональна;
- локальна.

Метеорологічні прогнози поділяються на два класи:

- методичні;
- стандартні (реперні).

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

Стандартні прогнози не вимагають розробки якої-небудь методики, чи якої-небудь аналітичної або розрахункової роботи синоптика. Вони використовуються для оцінки справджуваності методичних прогнозів.

За змістом формулювання (ступенем ствердження достовірності) очікуваної погоди методичні прогнози поділяють на:

- категоричні;
- імовірнісні.

Категоричні прогнози містять твердження про повну вірогідність очікуваної погоди. В них вказують тільки градації метеорологічних величин, що прогнозуються чи фаза явища погоди у вигляді якісної характеристики (наприклад, «слабкий», «помірний», «сильний») чи альтернативи (наприклад, наявність чи відсутність явища). Градація метеорологічної величини подається в вигляді чисельних меж інтервалу, розмір якого встановлюється заздалегідь, а значення меж змінюється.

Категоричні прогнози будуть формальними, якщо кожен раз прогнозується одна і та ж фаза погоди. Сучасні офіційні прогнози як загального призначення, так і спеціалізовані складаються переважно в категоричній формі. За формою такі прогнози містять твердження про конкретну фазу погоди і не містять вказівок, про його ймовірність.

Споживач одержує прогнози, термінологія і формулювання яких відповідають вимогам керівних документів.

Імовірнісні прогнози містяться вказівки щодо імовірності здійснення очікуваних фаз погоди. Формулювання кожного прогнозу розглядається з позиції імовірнісної природи погодних умов і її окремих складових.

Імовірнісна форма прогнозу є найбільш досконалою і прийнятною при оптимальному використанні прогностичної інформації у господарстві.

На основі статистично забезпеченого ряду категоричних прогнозів і даних фактичних спостережень можна скласти матрицю спряженості умов “прогноз” - “факт”, а отримані частоти спряженості подати в імовірнісній формі. Імовірнісна форма подання категоричного прогнозу цілком припустима і широко використовується при вирішенні багатьох метеоролого-економічних завдань. Такий імовірнісний прогноз відбиває ступінь здійснення прогнозу лише в середньому, в той час як оперативний - на основі конкретної синоптичної ситуації.

Чим досконаліше метод прогнозування, тим менше невизначеність очікуваної фази погоди. Тоді імовірнісний прогноз прагне до

категоричного, тобто до ствердження повної вірогідності та, по суті, стає частинним випадком імовірнісного прогнозу.

Такі прогнози можуть бути успішно використані в економічних розрахунках перспективного й оперативного планування господарства.

За досить великою чисельністю однорідних за текстом і методами прогнозування категоричних прогнозів можна скласти матрицю спряженості чи матрицю ймовірностей здійснення усіх фаз прогнозованого явища чи елемента погоди. У цьому випадку всі категоричні прогнози можна розглядати як імовірнісні прогнози. Такий прогноз стає імовірнісним тільки в середньому, а фактичний імовірнісний прогноз розраховує той хто прогнозує на підставі конкретної синоптичної ситуації. Середній же імовірнісний прогноз не дає уявлення про ту погоду, яку можна очікувати в конкретному випадку.

Такий підхід до оцінки середньої імовірності здійснення фаз погоди при тому чи іншому формулюванні прогнозу використовується для оцінювання справджуваності прогнозів і вироблення споживачем оптимальних рішень.

До стандартних прогнозів відносять випадкові, кліматологічні й інерційні.

Випадковими є такі прогнози, в яких очікувані фази погоди можуть здійснюватися чи не здійснюватися при виборі їх на вдалість. Як такі, випадкові прогнози не розробляються в синоптичній практиці. Однак правомірно припустити, що поточні погодні умови, що постійно змінюються в певних інтервалах часу мають випадковий характер, як наслідок стохастичності, що змінюється за часом синоптичних процесів. На цій основі можна вважати умовно, що “текст ” прогнозу може бути вибраний випадковим чином з можливого набору “текстів ”, допускається операція “здійснення ” випадкового вибору фази, градації метеорологічної величини з їх сукупного розподілу, що відповідає природному, кліматичному розподілу.

Успішність випадкового прогнозу використовується в якості зіставлення умови оцінки успішності методичного прогнозу.

Для складання такого прогнозу не потрібно ніякої методики. Випадковим образом вибирається намання, «наосліп» яка-небудь фаза (значення, градація) метеорологічної величини чи явища із сукупності, у якій розподіл фаз відповідає кліматичному.

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

Інерційні прогнози – це прогнози, в яких вказується (зберігається) вихідний, початковий стан погоди. Прогнозування здійснюється за тривіальним правилом: те, що є сьогодні, збережеться на весь наступний період (12,24,36 год. і т.д.). При складанні такого прогнозу використовують

властивість інерції атмосферних процесів. Згідно з інерційним прогнозом, будь-який вихідний стан погоди можна розглядати як прогностичний.

Це головним чином стосується метеорологічних величин. Для таких явищ погоди, як гроза, шквал і т.п., які мають високу просторово – часову дискретність, властивість інерційності має прояв у меншому ступені. Однак, в цьому випадку можна стверджувати про інерційність синоптичної ситуації, яка відбиває формування конвекційних процесів і явищ.

При циклонічних процесах, для яких характерна швидка зміна повітряних мас, з проходженням атмосферних фронтів, успішність інерційних прогнозів помітно поступається успішності методичних прогнозів. У випадку антициклонічних і достатньо стійких за часом синоптичних процесів інерційний прогноз може бути успішним.

В прогнозах погоди на малі відрізки часу (до 1 год.) властивості інерції можна використовувати в екстраполяційних прогнозах за умовою “нульових” змін погоди на вибраних відрізках часу.

Зі збільшенням тривалості інерційного прогнозу його справджуваність у середньому зменшується, а помилка наближається до помилки випадкового прогнозу. При атмосферних процесах, які швидко розвиваються, інерційні прогнози не можуть дати задовільних результатів.

Властивість інерції атмосферних процесів може бути використана чи безпосередньо, чи в якості одного з факторів. Властивістю інерції визначається стійкість процесів за часом. Ступінь інерційності процесу можна визначити за допомогою авто кореляційної функції, яка характеризує зв'язок між значеннями досліджуваної метеорологічної величини в різні моменти часу. Порівняння справджуваності методичних прогнозів з виправданістю інерційних є критерієм для використання даного прогностичного методу в оперативній роботі.

Кліматологічним називається такий прогноз, у якому прогнозованою метеорологічною величиною є середнє багаторічне значення - норма, імовірність здійснення її заданих градацій або імовірність явищ погоди. Для його складання не потрібно спеціальних розрахунків синоптика. Тут також не потребується спеціальна підготовча робота синоптика. Кліматологічні прогнози мають одне і теж формулювання. Такого роду інформація, що міститься в довідниках, є доступною і постійно відомою, як в повсякденній синоптичній, так і в господарській практиці. Кліматологічні прогнози використовують при перспективному плануванні.

Стандартні прогнози — випадкові, кліматологічні через низьку справджуваності, як правило, не можуть задовольняти повсякденні запити практики. Кліматологічні норми використовуються звичайно при перспективному плануванні.

За призначенням методичні метеорологічні прогнози (надалі будемо їх називати просто метеорологічними) поділяють на два основних види:

- загальні прогнози погоди, чи прогнози загального користування

(призначення), які надаються засобами масової інформації;

- спеціалізовані прогнози погоди, що складаються для окремих галузей.

У загальних прогнозах погоди надаються дані про очікувану хмарність, опади, температуру повітря і напрямок та швидкість вітру.

Зміст, час складання і передачі спеціалізованих прогнозів погоди регламентуються відповідними угодами, що встановлюються між прогностичними підрозділами і споживачами прогнозів погоди.

До спеціалізованих прогнозів відносяться і попередження про НЯ й ОНЯ, що складаються в зв'язку з погрозою виникнення таких явищ погоди. Прогнози НЯ й ОНЯ погоди (ураганні вітри, повені, сильні снігопади і заметілі, сильні бури й інші явища погоди, що наносять збиток чи зухвали стихійні лиха) передаються для населення й організацій негайно.

Спеціалізовані прогнози розрізняються за:

- змістом;
- характеристиками тих метеорологічних величин і явищ погоди, якими цікавиться дана галузь.

Прогнози погоди розрізняються між собою за:

- завчасністю складання;
- тривалістю дії;
- періодами «перекриття» одного прогнозу іншим;
- охопленням території;
- іншими умовами.

Так, у залежності від охоплення території розрізняють:

- прогноз за районом – очікувана погода в усьому районі в вигляді прогнозів за окремими його частинам;
- прогноз за пунктом – очікувана погода в конкретному пункті в межах району обслуговування (забезпечення);
- прогноз за маршрутом(трасою) – очікувана погода на шляху проходження транспортного засобу на відомій стандартній або заданій ділянці.

Прогнози за районом, пунктом і маршрутом, що складаються для конкретної галузі народного господарства, є спеціалізованими.

В залежності від періоду дії прогнозу розрізняють:

- над короткостроковий прогноз – від десятків хвилин до декількох годин;
- короткостроковий прогноз – від півдоби до 48 годин;
- середньостроковий прогноз – на 3 -10 доби;
- довгостроковий прогноз – на місяць, сезон;
- над довгостроковий прогноз – на рік або декілька років. Такий прогноз є фоновим і складається поки що як експериментальний.

В залежності від періоду дії прогнозу частота їх складання різна. Над короткострокові прогнози, ті що розробляються для авіації, складаються

більш часто. Так, для великого авіаметеорологічного центру (АМЦ) число таких прогнозів обчислюється десятками на протягом доби. Короткострокові прогнози розробляються в ДГМСУ і в інших прогностичних підрозділах один раз на добу з двома 12-годинними інтервалами (ніч – день), або декілька разів, якщо період дії прогнозу визначається інтервалом 3 – 12 годин.

До спеціалізованих прогнозів відносяться і штормові попередження і попередження про НЯ, які складають у зв'язку з загрозою виникнення ОНЯ і умов погоди. До цих прогнозів споживач ставить з підвищеною вимогою і надає їм особливого економічного значення.

В залежності від інтенсивності, виробничої і соціальної небезпеки очікуваного гідрометеорологічного явища негайно розробляється штормове попередження. Це можуть бути: дуже сильний вітер, в тому числі шквали, смерчі, дуже сильні опади, великий град, сильна заметіль, сильна піщана (пилова) буря, дуже сильні ожеледі, дуже сильний тривалий туман, сильне забруднення атмосфери та інші.

При загрозі виникнення НЯ штормове попередження передається негайно всім зацікавленим споживачам. Спеціалізовані прогнози можуть бути постійними, сезонними і тимчасовими (протягом декількох днів, тижнів), які розробляються для виконання окремих термінових і важливих господарських заходів. Крім того, можуть бути одноразові спеціалізовані прогнози за заявками. Консультації господарським організаціям щодо майбутньої погоди слід розглядати як спеціалізовані прогнози, в більш детальній, усній формі.

Наведені термінологія і визначення періодів дії прогнозів вироблені практикою і відповідають вимогам господарської діяльності споживача.

Спеціалізовані прогнози становлять основний зміст повсякденної роботи служби погоди. Час їх складання і передачі регламентується відповідними угодами, які укладаються між прогностичними підрозділами і споживачами прогнозів погоди. Однак прогнози НЯ і ОНЯ повинні передаватися для населення і господарських організацій негайно.

Різноманітність вимог, які висуваються до прогнозів різними галузями господарства, привели до суттєвої різниці спеціалізованих прогнозів між собою. Розрізняють зміст прогнозу за характеристиками тих метеорологічних елементів і явищ погоди, якими цікавиться дана галузь.

В деяких прогностичних підрозділах особливу увагу приділяють прогнозам таких гідрометеорологічних умов, які викликають небезпечний вплив на виробничий чи природний об'єкт. Це прогнози зледеніння морських і повітряних суден, згоряння лісу, лавині небезпеки, селєвих потоків, снігових наносів, повені в річках і т.п. Крім того, розробляються прогнози оптимального курсу морських і рибпромислових суден.

Цей неповний перелік метеорологічних прогнозів показує широту спектра спеціалізованої прогностичної інформації.

До спеціалізованих прогнозів висуваються такі вимоги.

1. Прогнози повинні передаватися споживачу з достатньою для нього завчасністю. Завчасність прогнозу — є проміжок часу від моменту передачі прогнозу споживачу до початку його здійснення, дії. Споживач часто вимагає збільшення завчасності, тому що в цьому бачить особливу практичну корисність прогнозів. Однак 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 більше тривалість прогнозу, тим більше повинна бути його завчасність. Так, довгострокові прогнози великої тривалості, наприклад на місяць, сезон, мають завчасність півмісяця, місяць.

2. Прогнози повинні мати стійку високу справджуваність, тобто високий ступінь відповідності між фактичною і прогнозованою погодою, отриманий за досить великої кількості прогнозів. Прогнозист повинен кваліфіковано розрізняти суть помилок прогнозу, враховувати їхній різний вплив на виробництво.

3. Видаваний споживачу текст (зміст) прогнозу повинен мати таку властивість, при якій прогнозист не має можливості заздалегідь впливати на справджуваність прогнозу. Від цього недоліку вільні прогнози, сформульовані в імовірнісній формі.

4. Прогноз необхідно складати так, щоб твердження про здійснення погоди не залишали місця для домислів і дозволяли б споживачу найбільш оптимально їх використовувати в математико-економічних моделях виробництва. Для цього також бажаний імовірнісний прогноз. Однак у даний час в оперативній практиці служби прогнозів поки ще використовується категоричний прогноз.

До штормових попереджень висуваються три основні вимоги:

- завчасність, достатня для прийняття споживачем ефективних запобіжних заходів захисту;

- висока справджуваність, що дозволяє економічно ефективно використовувати запобіжні заходи;

- екстреність передачі - своєчасне доведення його до всіх споживачів.

Після випуску спеціалізованого прогнозу синоптики іноді, коли стає зрозуміло, що даний раніше прогноз не справджується, вносять корективи, тобто уточнюють прогноз.

Особлива увага приділяється своєчасному попередженню про ОНЯ. До ОНЯ відносяться такі, інтенсивність, тривалість і площа поширення яких досягли таких значень, при яких утруднюється діяльність окремих галузей господарства, чи може бути завдано значного збитку господарству і населенню, чи можуть бути катастрофічні наслідки.

## 1.5 Споживачі метеорологічних прогнозів

Використання МІ здійснюється в комплексній системі погода – прогноз – споживач, яка фіксує постійні зміни стану погодних умов, можливості їх прогнозування на різні відрізки часу і головне, використання одержаних при цьому всіх виглядів МІ в інтересах економіки, соціальної сфери і вирішення задач спеціального призначення.

Споживач – конкретна галузь господарства, вид виробництва або окремих робіт – у відповідності зі специфікою постійної діяльності встановлює перелік необхідної для нього МІ. Це можуть бути конкретні метеорологічні величини, їх поточні і прогностичні значення, конкретні явища погоди або комплекс метеорологічних величин і явищ погоди та ін. Споживач у своїй багаторічній практиці виробляє чітку стратегію вибору, а саме, потреби від гідрометеорологічної служби для успішного функціонування виробничого процесу. Вибір інформації, необхідної споживачеві, залежить від наступних цільових завдань, які він вирішує.

1. Щоденні оперативні роботи, які виконуються на відкритому повітрі та орієнтовані не більше як на добову періодичність господарських рішень, які приймаються. Це переважно оперативні виробничі роботи в усіх галузях господарства.

2. Оперативні виробничі роботи, виконання яких орієнтоване на декілька днів, тижнів або навіть місяців. Це можуть бути спеціальні виробничі операції безперервного циклу. Наприклад, вибір дози азотної підгодівлі озимих в залежності від суми опадів за період осінь – зима.

3. Розробка технічних і технологічних проектів, які потребують разового стандартного урахування метеорологічних даних або інших метеорологічних відомостей. Проектування сучасної техніки, яка працює в умовах постійного впливу погоди, та потребує її оцінки і урахування.

4. Планування і проектування будівельних об'єктів різного призначення, промислових комплексів, морських портів, автотрас, трубопроводів, планування і забудова нових населених пунктів. Для цього вивчається метеорологічний режим даного регіону, пункту, визначаються характеристики клімату, необхідні для вирішення тих або інших задач.

Велике значення при цьому надається використанню кліматичних показників, які наведені в таких довідкових посібниках, як БНіП. Для цього проводиться вивчення впливу метеорологічних умов на виробництво, (будівельний, технічний) об'єкт, визначаються необхідні спеціалізовані показники на основі характеристик клімату і складаються рекомендації на їх упровадження в практику.

В залежності від виробничої специфіки визначається деякий оптимальний зміст МІ для даної галузі господарства. Однак зміст і обсяг МІ, необхідний для тієї чи іншої підприємницької ділянки, можуть істотно відрізнятися. Це головним чином стосується галузей економіки, сильно



диференційованих за характером роботи, наприклад сільське господарство, морська галузь, будівництво.

Споживач генерує основні установки і потреби до МІ. Служба погоди здійснює виконання суспільного замовлення такого роду. Сучасні метеорологічні можливості дозволяють отримати необхідні для споживача метеорологічні ресурси.

Таким чином створюється об'єктивно побудована система, яка вирішує завдання адаптації економічної і соціальної сфери до погодних і кліматичних умов. Уся МІ диференціюється за цілями і галузями, що відповідає специфіці виглядів виробництва у господарській практиці (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Споживачі МІ за цільовим призначенням і галузями

Сучасні споживачі метеорологічної продукції утворюють комплексні виробничі системи, що дозволяють вибрати більш ефективну стратегію використання МІ. До таких комплексних виробничих систем відносять комплекси: агропромисловий (АПК), транспортний (ТК), лісопромисловий

(ЛПК), рибпромисловий (РПК).

Усе різноманіття споживачів можна поділити на три класи в залежності від підприємницького ефекту, який отриманий за умови використання прогнозів.

1. Споживачі, які орієнтуються головним чином на запобігання прямих витрат, які пов'язані з руйнуванням, затопленням та ін.

2. Споживачі, які орієнтуються на скорочення експлуатаційних витрат. Це може бути скорочення трудових ресурсів, скорочення часу виконання того або іншого виду робіт, скорочення витрат енергоресурсів, матеріалів та ін. До таких споживачів відносяться усі види транспорту, енергосистеми, комунальне господарство.

3. Споживачі, які орієнтуються на одержання додаткової продукції. Це, в основному, сільське і лісне господарство, рибпромисловий флот, галузі господарства, пов'язані зі здобиччю корисних копалин.

Ефективне використання метеорологічних ресурсів, і в особливості прогнозів погоди, припускає, що між постачальником і споживачем склалися економічно вигідні відносини, що забезпечують кінцеву ціль – створення умов, за яких виробництво несе мінімум витрат за метеорологічними причинами.

Взаємодія постачальника і споживача передбачає такі етапи:

1. Диференціація прогнозів за окремими видами (групами) виробничих робіт у даній галузі. Необхідні розробки спеціалізованих прогнозів, які більш повно враховують специфіку робіт.

2. Уточнення змісту і форми подання прогнозів із залученням комп'ютерної техніки і сучасних засобів передачі інформації.

3. Розробка можливих апроксимацій залежностей наслідків поведінки споживачів від погодних умов – розробка функцій користі (втрат, доходів).

4. Виконання сезонних (сезонно – виробничих), піврічних або інших узагальнень за ходом реалізації прогнозів.

5. Впровадження методів оптимального використання прогнозів при постійному контролі якості прогностичної інформації.

6. Оцінка показників економічної користі (економічної ефективності і адаптації споживача до очікуваних умов погоди).

Споживач повинен враховувати, що сконцентрована в прогнозах інформація потребує не просто обов'язкових компенсаційних витрат, а багаторазово більшого їх повернення у будь-якій матеріальній формі вже в системі господарювання. Матеріалізація прогностичної інформації – завдання споживачів і служби прогнозів.

Споживачу слід вирішувати і ще одну проблему. До початку формування гідрометеорологічного ринку в нашій країні всі споживачі одержували прогностичну інформацію безкоштовно. Споживачі не могли працювати без прогнозів, але не могли і сплачувати за них. Державна

гідрометеорологічна служба і галузева економіка функціонували в одній монопольній системі, що посилено забезпечувало загальнодержавні інтереси. Споживач був поставлений в подвійно вигідні умови: і прогнози, і держстрах залишалися для нього несплаченим боргом.

В теперішній час частина гідрометеорологічної продукції реалізується за договірними цінами. Такий варіант призначення ціни носить паліативний характер і в сутності не вирішує проблему ціноутворення на прогностичну продукцію. В цьому випадку ціна як міра оплати виконує функцію консервативного “еквівалента” споживчої вартості. Дійсна еквівалентність не виконується навіть приблизно.

Особливість прогностичної продукції є в тому, що її собівартість відносно стабільна, а ресурсна користь сильно змінюється. В залежності від складності синоптичних процесів, “небезпеки” погодних умов і рівня успішності прогнозів, споживач одержує вигоду, яка на два – три порядки перевищує собівартість конкретного виду прогнозів, особливо попередження про НЯ.

У договірних цінах користь метеорологічних прогнозів за незрозумілими причинами виключається. Можливо, це пов'язано з простотою досягнення цілі. До собівартості  $A_{np}$  додається договірна (комерційна) ціна в вигляді добавки  $D_{np}$  і задача вважається вирішеною. Формально це виглядає гранично просто.

$$C_{np} = A_{np} + D_{np}. \quad (1.2)$$

В дійсності величина  $C_{np}$  повинна відображати не суб'єктивну оцінку частки  $D_{np}$  від  $A_{np}$ , а чисельну міру додаткової вартості, як функцію економічної користі прогнозів – економічного ефекту ( $E$ ) або економічну ефективність ( $P$ ). Показники економічної користі ( $E, P$ ) можуть розраховуватися на кожний місяць, сезон або виробничий період (навігацію, опалювальний період, період збирання в сільськогосподарської продукції та ін.). Ціна прогнозів повинна виражати долю від їх економічної користі, в якості цінового показника повинна виступати корисна цінність  $A(E)_{np}$ , але не собівартість  $A_{np}$ . Предметом обговорення з конкретним споживачем має бути величина  $\alpha$  у формулі загального вигляду

$$C_{np} = A(E) = \alpha E_o. \quad (1.3)$$

Якщо врахувати, що споживач витрачає ресурси на захисні заходи в  $S$  одиниць вартості, то, виключивши цю частку витрат, отримаємо чистий прибуток споживача за рахунок методичних прогнозів у вигляді

$$E_o = E - C(n_{11} + n_{21}) = E - Cn_{01}. \quad (1.4)$$

Величина  $\alpha$  може змінюватися в залежності від виду прогнозу (попередження, спеціалізований, зального користування) і ступеня залежності споживача від впливу метеорологічного фактора.

Споживачі МІ розрізняються не тільки за виробничою специфікою. Виробництва однієї і тієї ж галузі знаходяться в різних регіональних та погодних умовах, що може впливати на роботу виробництва.

З урахуванням характеру впливу погодних умов на проведення господарських заходів розрізняють стаціонарних і нестаціонарних (рухливих) споживачів. Стаціонарні споживачі (виробничі об'єкти) можуть бути локальними, широкими (масштабними). Так, морські порти як господарські об'єкти є стаціонарними і локальними споживачами, сільськогосподарські виробництва і лісне господарство – стаціонарними і достатньо широкими, охоплюють великі площі.

Існує ряд специфічних виглядів діяльності, де прогностична інформація є базовою вимогою виконання поточних робіт. Так, з урахуванням очікуваної погоди вживаються природоохоронні заходи в лісовому господарстві: лісопосадки, заходи в заповідних зонах, хімічна обробка лісових насаджень, захист лісу від пожежі. Поточна і прогностична інформація широко використовується при видобутку корисних копалин у відкритих умовах.

За останні роки розвернуто активне будівництво об'єктів різного призначення: підприємств, нафти – і газопроводів, морських портів, дорожніх магістралей, окружні дороги в районі великих промислових центрів і багато інших. Все це потребує більшого об'єму спеціалізованої МІ та густої мережі метеорологічних станцій.

## **1.6 Напрями використання гідрометеорологічної інформації**

Метеорологічні умови чинять багатофакторний вплив на економіку і соціальну сферу. При цьому формується три сфери залежності від гідрометеорологічних умов: економічна, екологічна і соціальна (рис. 1.2). Можна вважати, що для одного регіону домінуючою буде економічна залежність, а для іншого – ця залежність буде комплексною, наприклад соціально – екологічною.

Постулюється, що певний комплекс погодних умов, метеорологічна величина чи явище погоди здійснюють вплив на споживача у припустимих межах; і при такому впливі нормальне функціонування окремих підприємств не викликає суттєвих відхилень. Вплив, який виходить за ці межі, веде до значних втрат, які не тільки порушують нормальну діяльність споживача, але і можуть спричинити тривалу економічну нестабільність у господарській практиці та завдати великого збитку, як окремому виробничому об'єкту, так і для визначеного району в цілому.

Планування розвитку економіки виконується з урахуванням не

тільки природних ресурсів. У цьому виявляється складний взаємозв'язок виробництва і метеорологічних умов. Науково обґрунтована інформація про поточну і майбутню погоду, а також про її багаторічний режим знаходить виробничий напрям прикладання.



Рисунок 1.2 Сфери залежності від гідрометеорологічних умов

Вихідна МІ широко використовується для подальшого, більш глибокого вивчення атмосферних процесів і закономірностей їхнього розвитку. Це дозволяє вести успішні дослідження в напрямку розробок нових методів короткострокових і довгострокових прогнозів погоди і розробляти нові комплексні кліматичні показники, індекси і

характеристики. Це є напрям наукового застосування МІ.

Дані метеорологічних спостережень, прогнози погоди, штормові оповіщення і попередження, кліматичні дані широко використовуються населенням, організаціями й установами при проведенні культурно-масових і побутових заходів. На основі урахування характерних рис зміни погодних умов даного району розглядаються різні соціальні аспекти охорони навколишнього середовища. Усе це складає соціальний напрям прикладання метеорологічних даних.

Таким чином, МІ використовується у виробничій, науковій і соціальній сферах діяльності суспільства.

У кожному економічному районі формуються територіально-виробничі комплекси (ТВК), для яких характерна більш вузька виробнича спеціалізація і, отже, необхідна і більш конкретна МІ. Забезпечення прогнозами ТВК здійснюється за відповідними угодами, в яких обумовлена інформація, що поставляється споживачу, з урахуванням, крім того, культурно-побутових запитів населення. Територіально-виробничий комплекс містить у собі кілька промислових вузлів однотипної структури. Це дозволяє територіально зосередити МІ.

Враховуючи регіональні фізико-географічні особливості економічного району обслуговування, його переважні спеціалізації й наявність ТПК гідрометеорологічні органи разом зі споживачем розробляють плани гідрометеорологічного забезпечення.

У залежності від виробничої специфіки галузей визначається деякий оптимальний склад МІ для певної галузі господарства. Однак усередині цієї галузі склад і обсяг МІ, необхідної для тієї чи іншої виробничої ділянки, можуть істотно розрізнятися. Це, в першу чергу, відноситься до галузей, що найбільш диференційовані за характером робіт, наприклад сільське господарство, будівництво й інші.

З метою підвищення ефективності використання МІ необхідно вивчати «чутливість» споживача до умов погоди, значущість даної галузі і на цій підставі встановлювати його клас. Це необхідно для того, щоб знайти таку форму гідрометеорологічного забезпечення конкретного споживача, яка була б для нього економічно ефективною.

Розглянемо один з можливих підходів до класифікації споживачів. В основу класифікації можуть бути покладені дві умови:

- внесок даної галузі в національний доход, що визначає значущість галузі;
- ступінь схильності даної галузі господарства впливу гідрометеорологічних умов.

Дослідження, які проведені у США, дозволили визначити відповідний рейтинг кожної галузі господарства за зменшенням ступеню залежності галузі від погоди, а також за зменшенням її значущості у національному доході.

Характерно, що галузі, на які вплив погоди найбільший (рибальський флот, сільське господарство, повітряний транспорт, лісова промисловість, будівництво, залізничний, автомобільний, водний транспорт), як правило, займають останні місця в переліку значущості галузей у національному доході. Виняток становить сільське господарство, залежність якого від погоди надзвичайно велика й у той же час його частка в національній економіці є значною.

Визначити клас галузі можна, наприклад, за відношенням різниці частки галузі у національному доході  $D$  і реальних збитків з метеорологічних причин  $u_p$  у даній галузі до її частки в національному доході, тобто за відношенням  $\frac{D-u_p}{D}$ . При цьому необхідно враховувати значущість даної галузі, з погляду науково-технічної перспективи розвитку економіки, шляхом уведення коефіцієнта  $\alpha$ . Тоді клас споживача  $M_I$  можна визначити за формулою

$$K = \left( \frac{D-u_p}{D} \right) \cdot \alpha. \quad (1.5)$$

З цієї формули випливає, що при  $D=const$  залежність класу споживача від погоди буде визначатися різницею  $D-u_p$ .

Для визначення класу споживача за цілим порядковим номером слід від  $K$  перейти до  $K^*$  за формулою

$$K^* = (1-K) \cdot 10^h, \quad (1.6)$$

де  $h$  - величина порядку (обраного довільно).

Можлива не тільки галузева оцінка класу споживача, але і деяка класифікація всередині галузі, за окремими її об'єктами.

## 2 ОЦІНКА СПРАВДЖУВАНOSTІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПРОГНОЗІВ

### 2.1 Умови оцінки прогнозів погоди і вимоги, що до них ставляться

Припустимі відхилення прогнозу від фактичної погоди встановлюються на підставі багаторічного досвіду роботи служби прогнозів разом з різними споживачами з урахуванням природної мінливості метеорологічних величин і явищ погоди в різних фізико-географічних умовах. Вони регулюються відповідними документами.

Розглянемо загальні принципи оцінки прогнозів.

Якщо  $\Phi_i$  - фактична, а  $\Pi_j$  - прогнозована погода (метеорологічні величини, характеристика явищ) за період прогнозування, то умова

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

відповідає ідеальному прогнозу.

Однак, за причиною недосконалості методик прогнозування, сучасні прогнози далеко не ідеальні і за своєю природою мають імовірнісний характер виправдання. Тому умова (2.1) виконується рідко.

За правилом, прогноз погоди тією чи іншою мірою 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

$$\Delta(\Phi_i, \Pi_j) = \Delta(\Phi_i, \Pi_j)_{\text{дон}}, \quad (2.3)$$

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

Тоді, якщо

$$\Delta(\Phi_i, \Pi_j) \leq \Delta(\Phi_i, \Pi_j)_{\text{дон}}, \quad (2.4)$$

прогноз вважається виправданим, і, якщо

$$\Delta(\Phi_i, \Pi_j) > \Delta(\Phi_i, \Pi_j)_{\text{дон}}, \quad (2.5)$$

не виправданим.

Кожна метеорологічна величина і кожне явище в прогнозі вимагає самостійної оцінки справджуваності. В оперативній синоптичній практиці



поодинокій прогноз оцінюється в цілому (у відсотках) за результатами оцінки окремих його складових.

Оцінка прогнозів погоди передбачає два робочих етапи. На першому етапі проводиться збір необхідного матеріалу за конкретними складеними оперативними прогнозами. При цьому не допускаються пропуски випадків (прогнозів) чи довільні часткові вибірки.

Для перевірки методу прогнозування можуть бути використані прогнози, складені за архівними матеріалами. Для цієї мети необхідно мати синоптичний архів високої якості, що включає всі ситуації, для яких цей метод застосовується. Ряд даних для оцінки методу прогнозування повинний бути незалежним від того ряду даних, на підставі якого розроблявся метод прогнозування.

На другому етапі розраховуються критерії оцінки за вимогами:

1. Оцінка повинна бути об'єктивною, тобто вона не повинна залежати від оцінки того хто прогнозує.

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

3. Оцінка повинна бути досить простою, щоб її можна було використовувати в оперативній практиці.

4. Метод прогнозування повинен бути обраний цілком обґрунтовано, оскільки саме порівняння з ним дозволяє встановлювати перевагу одних методів прогнозу над іншими.

## **2.2 Призначення оцінки прогнозів погоди з урахуванням вимог споживачів**

Оцінка справджуваності прогнозів погоди дозволяє встановити такі важливі положення:

1. Умови, за яких даний метод має найкращі результати та умови, за яких помилки прогнозування найбільші.

2. Напрямок подальших досліджень з метою удосконалення методу прогнозування.

3. Ефективність роботи тих хто прогнозує.

Оцінка справджуваності прогнозів може проводитися диференційовано за:

- оцінкою метеорологічних величин, що є у прогнозі, і явищ у залежності від особливостей атмосферної циркуляції, синоптичного положення;

- оцінкою помилок прогнозу самого синоптичного положення: еволюції і переміщення атмосферних об'єктів, що утворюють погоду;

- за оцінкою застосовності конкретного методу прогнозування для того чи іншого географічного району з урахуванням його регіональних особливостей.

Сама задача районування є складною. Але потребує вирішування, бо завжди треба враховувати вплив фізико-географічних факторів на розвиток атмосферних процесів, що може викликати необхідність удосконалення методу, чи встановлення меж його застосовності.

Справджуваність прогнозів, узагалі, різна для різних сезонів; це можна встановити при наявності досить довгого прогностичного ряду.

Оскільки споживачі зацікавлені в прогнозі значень метеорологічних величин і явищ погоди, то стосовно до них і повинна проводитися диференційована оцінка.

Важко перелічити всі можливі варіанти умов оцінки справджуваності прогнозів, однак урахування їх у край необхідний при виявленні причин помилок прогнозів і пошуку шляхів удосконалювання методик прогнозування.

### **2.3 Оцінка справджуваності окремих метеовеличин і явищ погоди**

У деяких випадках необхідно давати оцінку справджуваності прогнозів окремого явища погоди чи тільки однієї метеорологічної величини. Тоді справджуваність окремої величини чи явища погоди знаходять незалежно від того, виправдався чи не виправдався прогноз у цілому.

Така оцінка справджуваності показує якість застосовуваного методу (чи комплексу методів) прогнозування даної величини чи явища погоди за умови нормативної (заздалегідь заданої Настановою) помилки прогнозу. Таку оцінку справджуваності окремих величин чи явищ погоди можна назвати виробничою чи споживчою.

У ряду випадків при удосконалюванні методів прогнозування виникає необхідність дати оцінку справджуваності метеорологічної величини при різних градаціях чи помилки явища погоди з урахуванням як наявності, так і відсутності його. Таку оцінку справджуваності можна назвати пошуковою чи науковою. Ця оцінка потребує спеціальної обробки матеріалів прогнозування з раніше складених прогнозів і вибору помилки прогнозу з урахуванням поставленої задачі.

Усі прогнози в залежності від числа можливих градацій (фаз) значень метеорологічних величин і явищ погоди можна поділити на дві категорії:

альтернативні і багатофазові.

Альтернативний (двофазовий) прогноз містить одну з двох взаємовиключальних умов погоди: наявність чи відсутність даного стану погоди (наприклад, вітер двох градацій, хмарність двох градацій, інші явища погоди з фазами “наявність” чи “відсутність”).

Багатофазовий прогноз містить понад дві фази (наприклад, хмарність

більш двох градацій, температура більш двох градацій і т.п.).

Оцінку справджуваності прогнозування необхідно проводити за достатньо великою сукупністю  $N$  прогнозів погоди. Задовільні результати оцінки справджуваності можуть бути отримані при  $N \geq 30$  і добрі - при  $N \geq 100$ . Чим більше  $N$ , тим більш достовірні результати оцінки.

Загальна сукупність  $N$  прогнозів погоди повинна найбільш повно відбивати розподіл метеорологічної величини чи явища погоди за усіма градаціями. Для цього усі раніше складені метеорологічні прогнози узагальнюються у вигляді матриці спряженості  $\|n_{ij}\|$  (Табл. 2.1) (для спрощення подається в дискретному вигляді як матриця другого порядку) і її ймовірносних модифікацій  $\|p_{ij}\|$  і  $\|q_{ij}\|$ .

Алгоритмічна схема розробки матриці спряженості легко програмується, що дозволяє створити унікальну базу даних про успішність прогнозів, а тобто і можливість оцінки їх економічної корисності.

Матриця спряженості як підсумкове узагальнення результатів прогнозування вміщує число випадків ( $n_{ij}$ ) відповідності здійснення умови ( $\Pi_j \sim \Phi_i$ ). На основі оперативних зведень того хто прогнозує (або інших форм подання прогнозів) виконується вибірка прогностичної інформації ( $\Pi_j$ ) про явища (гроза, зливи, ожеледь, туман та інше) або умови погоди (вітер, температура, висота низької хмарності та інше) і зіставлення їх з фактичною погодою ( $\Phi_i$ ), що дозволяє розробити матрицю спряженості альтернативних або багатофазових, а також інерційних прогнозів

Табл.2.1 - Матриця спряженості прогнозів

Фактично було, $\Phi_i$	Прогноз $\Pi_j$		$\sum_{j=1}^m n_j$
	П-явище прогнозується	$\bar{\Pi}$ - явище не прогнозується	
$\Phi$	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{10}$
$\bar{\Phi}$	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{20}$
$\sum_{i=1}^n n_i$	$n_{01}$	$n_{02}$	$N$

⇒

$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{10}$	$q_{11}$	$q_{12}$
$p_{21}$	$p_{22}$	$p_{20}$	$q_{21}$	$q_{22}$
$p_{01}$	$p_{02}$	1	1	1

Де  $n_{ij}$  - частота здійснення текстів прогнозів;  $p_{ij}$  і  $q_{ij}$  - відповідно їх загальні і умовні можливості.

Оперативна комп'ютерна розробка матриці спряженості зводиться до механізму вибіркового накопичення інформації щодо прогнозних і фактичних умов погоди за обраний відрізок часу (місяць, сезон, рік).

Погодна залежність споживача може бути подана у формалізованому вигляді. Для цього використовується функція втрат як модифікація функції корисності, яку в практичних економіко-метеорологічних задачах подають у вигляді матриці втрат  $\|s_{ij}\|$  другого порядку ( $2 \times 2$ ). Більш повний її зміст розкрито в [3]. Вона вміщує економічні наслідки рішень  $d(\Pi_j)$ , які приймає споживач при повній довірі прогнозам.

Тут подані такі економічні характеристики як наслідки дій споживача на підставі прогнозів  $d(\Pi_j)$ . Витрати на заходи захисту ( $s_{11} - s_{12}$ ) не є кардинальними і, як наслідок, можливі не відведені втрати ( $\varepsilon s_{12}$ ). Споживачу не вдається повністю запобігти втрат. Не відведені втрати ( $L_H = \varepsilon s_{12}$ ) в тій або іншій мірі ( $\varepsilon = \overline{0,1}$ ) характерні для більшості споживачів. Разом з цим внаслідок тих же заходів захисту ( $\varepsilon > 0$ - коефіцієнт не відведених втрат) споживач відводить частину максимально можливих втрат ( $s_{12}$ ). Відведені втрати  $L_{\Pi} s_{12} - \varepsilon s_{12}$  відображають цільову задачу правильних прогнозів наявності явищ ( $\Pi \sim \Phi$ ). В ситуаціях пропуску явищ  $d(\overline{\Pi}) \sim \Phi$  відмічаються максимальні втрати  $s_{12} = L_{\max}$ .

Таблиця 2.2 – Матриця втрат

$(s_{ij}) =$	$\Phi_i$	$d(\Pi_j)$	
		$d(\Pi)$	$d(\overline{\Pi})$
	$\Phi$	$s_{11} + \varepsilon s_{12}$ $s_{12} - \varepsilon s_{12}$	$s_{12}$
	$\overline{\Phi}$	$s_{21}$	$s_{22} = 0$

$\varepsilon > 0$

Вигода ( $W$ ) правильних прогнозів при наявності явищ дорівнює різниці між відведеними втратами і витратами, які мають вигляд втрат на захисні заходи і не відведені метеорологічні втрати в ситуації  $d(\Pi) \sim \Phi$ .

До послідовностей рішень, які приймаються згідно прогностичної інформації та формалізації (2) формулюються такі вимоги:

$$\begin{aligned}
 L_H &= n_{11} \varepsilon s_{12} \Rightarrow \min ; \\
 L_{\Pi} &= n_{11} s_{12} (1 - \varepsilon) \Rightarrow \max ; \\
 W &= n_{11} s_{12} (1 - \varepsilon) - n_{11} (s_{11} + \varepsilon s_{12}) = n_{11} [s_{12} (1 - 2\varepsilon) - s_{11}] \Rightarrow \max .
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

За таких вимог функціональний опис адаптації до очікуваних умов погоди в режимі досягнення мети можна подати таким чином:

$$G = \frac{n_{11}s_{12}(1-\varepsilon)}{(n_{21}s_{21} + n_{11}s_{11} + n_{11}\varepsilon s_{12} + n_{12}s_{12})} = \frac{n_{11}s_{12}(1-\varepsilon)}{n_{01}s_{11} + n_{11}\varepsilon s_{12} + n_{12}s_{12}} \Rightarrow (G)1 \Rightarrow \max \quad (2.7)$$

Тут, як бачимо, відношення відведених втрат для всіх випадків правильних прогнозів ( $n_{11}$ ) до загальних витрат споживача розглядається як міра адекватності дій споживача відносно очікуваних проявів небезпечної погоди.

Значення показника адаптації  $G$  відображає здатність попереджувального захисту споживача, при якому запобігання втрати  $\{n_{11}L_n = n_{11}s_{12}(1-\varepsilon)\}$  повинні бути більше загальних витрат виробничого  $\{n_{01}C = n_{01}s_{11}$ , тут  $C$  – вартість захисних заходів} і природного  $\{L(n_{11}\varepsilon + n_{12}) = n_{11}\varepsilon s_{12} + n_{12}s_{12}\}$  характерів. Звідси видно, що адаптація ефективна, якщо  $G > 1$ .

Розробка матриць втрат (навіть другого порядку) – задача складна і відноситься в більшій мірі до компетенції споживача, який володіє необхідною економічною інформацією.

Матриця втрат, яка використовується в оперативній практиці, відображає реальні умови реалізації альтернативних прогнозів більшістю споживачів. Такого роду формалізація урахування простої альтернативи “захищаюсь або не захищаюсь” хоча і дозволяє отримати користь від прогнозів, але є лише нижньою межею потенціальної користі короткострокових прогнозів.

Дискретизація прогнозу, використання її багатозначності і розробка матриці втрат більш високого порядку дозволяє споживачу отримати більш вигідний економічний ефект.

Споживач вирішує перед усім першу задачу – вибір оптимальної погодно-господарської стратегії  $S_{onm}$ , як вибір прогностичної інформації, що забезпечує даному споживачу мінімум втрат. З можливого набору методичних, інерційних, випадкових і кліматологічних прогнозів обираються ті, які оптимізують погодно-господарські дії споживача. Для цього використовується цільова установка:

$$S_{onm} \Rightarrow \overline{R_{onm}} = \min_{\langle s \rangle} \overline{R},$$

де  $\overline{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} s_{ij}$  - середні (баєсовські) втрати ( $i = 1, n; j = 1, m$ ).

На прикладі вибору оптимальної стратегії використання прогнозів

весняних заморозків у сільськогосподарському виробництві [ ] показано, що коли втрати з причини пропущеного синоптиком заморозку дуже великі відносно можливих сумарних щоденних витрат щодо запобігання відведених втрат, то не виключено, що вигідніше орієнтуватися на стратегію постійного захисту. Це означає, що вибір оптимальної стратегії відображає лише перший етап використання метеорологічних ресурсів.

Друга задача зводиться до розробки оптимального регламенту рішень (дій). Споживач, який використовує прогнози метеорологічних величин (вітер, температуру і інше), повинен встановити, яка кількість рішень ( $k$ ) буде оптимальною ( $k = k_{opt}$ ). Проста альтернатива, як відзначалося вище, малоефективна. Вибір оптимуму заснований на показниках середніх (баєсовських) втрат, який розраховується з урахуванням вигоди правильних прогнозів. Може статися, що споживачу, наприклад, вигідно використовувати три рішення і дії: “захист не здійснюється”, “помірний захист” і “кардинальний захист”. В регламенті споживача можна використовувати і більшу кількість рішень. При цьому зі збільшенням дискретності рішень економічна ефективність використання прогнозів збільшується.

При використанні методичних прогнозів можна записати

$$\bar{R}_m = f(A, k),$$

де  $A$  – параметризація, обумовлена функцією втрат.

Звідси

$$k_{opt} \Rightarrow \min_k \bar{R}_m. \quad (2.8)$$

Третя задача вміщує рішення, яке стосується оперативного оптимального погодно-господарського рішення ( $d_k = d_{k,opt}$ ). Перемноження двох матриць  $\|q_{ij}\|$  і  $\|s_{ij}\|$  (одна з них допускається транспонованою) дозволяє отримати матрицю систематичних втрат з елементами

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^n q_{ij} s_{ij}, k = \overline{1, n}.$$

Необхідно обрати за даним текстом прогнозу  $\Pi_j$

$$d_{k,opt} \Rightarrow \min R_{kj}(\bar{\Pi}_j).$$

Вибір оптимального погодно-господарського рішення в режимі оперативного виробництва здійснюється на основі матриць систематичних

втрата  $\|\bar{R}_{kj}\|$ , яка виконує роль регламенту оптимальних дій споживача ( $d_k$ ).

Для встановлення справджуваності прогнозування явища погоди чи деякого його альтернативного стану, варто вибрати критерії оцінки.

Єдиного критерію, придатного для оцінки справджуваності будь-яких прогнозів, не існує. На цей час застосовуються такі критерії оцінки справджуваності прогнозів, як загальна справджуваність прогнозів, критерій надійності прогнозів за Н. А. Багровим, критерій точності прогнозів за А.М. Обуховим, критерій справджуваності прогнозів за Хайдке, кількість прогностичної інформації, інформаційне відношення, і інші показники. Усі вони є об'єктивними критеріями і широко використовуються в наукових дослідженнях і в оперативній практиці.

Для оцінки справджуваності альтернативних прогнозів використовуються такі критерії.

1. Загальна справджуваність прогнозів, визначається за формулою

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N}. \quad (2.9)$$

Показник  $p$  у формулі виражається в відсотках чи у частках одиниці. Він не є загальним і надійним критерієм справджуваності прогнозів. Можна вибрати, наприклад, такий район прогнозування і таке явище погоди, що формальні прогнози (допустимо, щодня протягом літа прогнозується відсутність грози) одержать більшу загальну справджуваність, ніж методичні. Використання тільки показника  $p$  може приводити до істотних недооцінок прогнозу різких змін погоди і рідких явищ, пророкування яких украй важливо для багатьох галузей господарства.

Для виявлення справджуваності методичних прогнозів за критерієм(2.6), необхідно встановити їхню перевагу перед випадковими прогнозами.

2. Загальна справджуваність випадкових прогнозів, визначається за формулою

$$p_e = \frac{E_c}{N} = \frac{n_{01}n_{10} + n_{02}n_{20}}{N^2}, \quad (2.10)$$

де  $E_c$ - кількість прогнозів, що виправдалися.

При цьому значення  $E_c$  знаходять у такий спосіб:

$$E_c = \frac{n_{01}n_{10}}{N} + \frac{n_{02}n_{20}}{N}. \quad (2.11)$$

У підсумку для оцінки справджуваності прогнозів можна

використовувати відношення  $\delta p = \frac{p}{p_e}$  чи різницю  $\Delta p = p - p_e$ .

### 3. Критерій справджуваності прогнозів за Хайдке

$$S = \frac{n_0 - E}{N - E}, \quad (2.12)$$

де  $n_0 = n_{11} + n_{22}$ , а  $E$  - очікувана кількість прогнозів, що спралилися. Значення  $E$  можна отримати на підставі оцінок справджуваності неметодичних прогнозів: випадкового ( $E_e$ ), інерційного ( $E_i$ ) і кліматологічного ( $E_{кл}$ ). Значення  $E_e$  визначається з вищенаведеної формули, а  $E_{кл}$  розраховується за формулою

$$E_{кл} = \frac{1}{n} N, \quad (2.13)$$

де  $n$ -кількість градацій явища  $\Phi$ .

### 4. Критерій надійності прогнозів за Н. А. Багровим, має вигляд

$$H = \frac{p - p_e}{1 - p_e}. \quad (2.14)$$

При  $H=1$  - всі прогнози справджувалися;  $H=0$  - прогнози мають випадковий розподіл, а при  $H=-1$  - усі прогнози помилкові.

### 4. Критерій точності прогнозів за А. М. Обуховим має вигляд

$$Q = 1 - \left( \frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right). \quad (2.15)$$

Для ідеальних прогнозів  $Q=1$ , для випадкових  $Q=0$  і, якщо всі прогнози помилкові,  $Q=-1$ .

Для порівняльної оцінки справджуваності необхідно встановити, наскільки справджуваність даного методу відрізняється від справджуваності випадкових, інерційних чи кліматологічних прогнозів. Іноді використовується прийом порівняльної оцінки стосовно ідеальних прогнозів. Усе це дозволяє виявити кращі методи прогнозування.

### 6. Кількість прогностичної інформації й інформаційне відношення.

Усі явища погоди мають кліматичну імовірність здійснення. У цьому виявляється імовірнісний характер прогнозів, що містять умовні імовірності, тобто імовірності здійснення явища, чи градації значення метеорологічної величини при наявності деякої заздалегідь відомої умови. Як така умова може бути попередньо зафіксоване положення баричного



утворення, наявність десь зони опадів і т.п. Прогнозу, оскільки він не є ідеальним, таким чином, властива невизначеність його здійснення, чи так звана статистична ентропія. Якщо про деяке явище відомо все, то його ентропія дорівнює нулю. Невизначеність явища тим більше, чим більше число його станів рівної імовірності.

Для будь-якого явища, чи градації значення метеорологічних величин можна визначити його кліматичну ентропію, розрахувавши статистичну ентропію  $H$  за формулою

$$H(\Phi) = -\sum_{i=1}^n p(\Phi_i) \lg p(\Phi_i), \quad (2.16)$$

де  $p(\Phi_i)$  - безумовна ймовірність здійснення явища,  $p(\Phi_i) = \frac{n_{i0}}{N}$ .

Формула виражає безумовну ентропію. Задача методичного прогнозу зводиться до того, щоб зменшити безумовну імовірність у здійсненні прогнозованого явища. Ентропія нової системи  $\Pi_j \sim \Phi_i$  буде меншою за кліматичну. Вона має назву умовної ентропії і визначається за формулою

$$H(\Pi) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\Pi_j) H(\Phi_i / \Pi_j). \quad (2.17)$$

Тут маємо:

$$p(\Pi_j) = \frac{n_{0j}}{N}; \quad H(\Phi_i / \Pi_j) = \sum_{i=1}^n p(\Phi_i / \Pi_j) \lg p(\Phi_i / \Pi_j).$$

Одиниця виміру  $H$  залежить від основи логарифма. Якщо вона дорівнює 10, то  $H$  вимірюється в дітах, якщо ж вона дорівнює 2, у бітах.

Запишемо формули для умовної і безумовної ентропії в частотах:

$$H(\Phi) = -\left( \frac{n_{10}}{N} \lg \frac{n_{10}}{N} + \frac{n_{20}}{N} \lg \frac{n_{20}}{N} + \dots + \frac{n_{n0}}{N} \lg \frac{n_{n0}}{N} \right). \quad (2.18)$$

У випадку альтернативного прогнозу ( $n=m=2$ ) маютья тільки два перші доданки.

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

$$H(\Pi) = -\left[ \frac{n_{01}}{N} \left( \frac{n_{11}}{n_{01}} \lg \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \lg \frac{n_{21}}{n_{01}} + \dots + \frac{n_{n1}}{n_{01}} \lg \frac{n_{n1}}{n_{01}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{n_{02}}{N} \left( \frac{n_{12}}{n_{02}} \lg \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \lg \frac{n_{22}}{n_{02}} + \dots + \frac{n_{n2}}{n_{02}} \lg \frac{n_{n2}}{n_{02}} \right) + \dots + \right. \\ \left. + \frac{n_{0m}}{N} \left( \frac{n_{1m}}{n_{0m}} \lg \frac{n_{1m}}{n_{0m}} + \frac{n_{2m}}{n_{0m}} \lg \frac{n_{2m}}{n_{0m}} + \dots + \frac{n_{nm}}{n_{0m}} \lg \frac{n_{nm}}{n_{0m}} \right) \right]. \quad (2.19)$$

Якщо  $n=m=2$ , то ця формула набирає вигляду

$$H(\Pi) = - \left[ \frac{n_{01}}{N} \left( \frac{n_{11}}{n_{01}} \lg \frac{n_{11}}{n_{01}} + \frac{n_{21}}{n_{01}} \lg \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left( \frac{n_{12}}{n_{02}} \lg \frac{n_{12}}{n_{02}} + \frac{n_{22}}{n_{02}} \lg \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) \right]. \quad (2.20)$$

Зменшення умовної ентропії в прогностичній моделі в порівнянні з кліматичною має вираз

$$J(\Pi/\Phi) = H(\Phi) - H(\Pi), \quad (2.21)$$

який називають кількістю прогностичної інформації. Шляхом відношення  $J(\Pi/\Phi)$  до одиниці кліматичної ентропії явища  $H(\Phi)$ , отримаємо інформаційне відношення

$$v = \frac{J(\Pi/\Phi)}{H(\Phi)} = 1 - \frac{H(\Pi)}{H(\Phi)}. \quad (2.22)$$

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

Прогнози таких метеорологічних величин і явищ погоди, як температура, вітер, тиск повітря, геопотенціальна висота, хмарність і опади, є багатозначними.

Щоб визначити справджуваність цих прогнозів, треба знати помилки прогнозування за всіма градаціями прогнозу.

Як вказувалось, найбільше повно відбиває результати прогнозування таблиця ймовірностей, отримана на підставі таблиці справджуваності.

Характеристикою справджуваності можуть бути ймовірності вигляду

$$r_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} = \frac{p(\Phi, \Pi)_{ij}}{p(\Phi)_i}, \quad (2.23)$$

де  $p(\Phi, \Pi)$  - безумовна ймовірність здійснення тексту прогнозу  $\Pi$ .

Якщо ймовірності  $r_{ij}$  при  $i \neq j$  є помилки прогнозу, то частка вдалих прогнозів визначається різницею

$$r^* = 1 - \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{ij}. \quad (2.24)$$

Кращий метод дає більшу частку вдалих прогнозів.

При оцінці загальної справджуваності багатозначних прогнозів необхідно знати не тільки розподіл помилок прогнозування, але і значення цих помилок, їхній вплив на споживача.

Чим більше відхилення прогностичного значення від фактичного, тим менше користь такого прогнозу, чи тим більше збиток від нього для даного

споживача. За таким ранжуванням, прогнозам, що справдилися, можна приписати максимальний рівень якості, вищий бал чи найбільшу вагу (значущість). Інші прогнози зі збільшенням помилок будуть мати збитні ваги. Тоді правильну, більш повну оцінку справджуваності багатofазових прогнозів можна визначити тільки за наявності так званої матриці ваг (Табл. 2.3). Крайні умови в ній визначаються так: прогнозам які не справдилися, приписується негативне значення чи нуль, а тим, що справдилися - 1, 10 і 100.

Наведена матриця ваг отримана з умови, що кліматичні імовірності усіх фаз однакові. Тут  $\Pi_2$  орієнтують споживача на деякі середні умови погоди, а  $\Pi_1$  і  $\Pi_3$  - на істотні відхилення від них в обидва боки. Несиметричність даної матриці ваг пояснюється тим, що помилки першого роду - помилки ризику - викликають «промахи» у рішеннях споживача, що має для нього більш серйозні наслідки, чим помилки другого роду — помилки страховки, які призводять до того, що рішення споживача виявляються «помилковою тривогою». Такий підхід до оцінки якості прогнозів дозволяє встановити рівень кваліфікації того хто прогнозує і виробничу (споживчу) цінність застосовуваного методу прогнозування.

Поділ на градації всього інтервалу значень прогнозованої величини можна здійснити за допомогою завдання деякої системи квантилей (заданих рівнів імовірності). Система  $p$ -відсоткових квантилей  $(x_{p_1}, x_{p_2}, \dots, x_{p_k})$ , де  $0 < p_1 < \dots < p_k < 1$  дозволяє розбити весь інтервал на  $k+1$  градацію  $(\Pi_j, \Phi_i)$ .

Таблиця 2.3 - Матриця ваг  $s_{ij}$

$\Phi_i$	$\Pi_j$		
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$\Phi_1$	100	25	0
$\Phi_2$	50	100	50
$\Phi_3$	0	25	100

Медіана — 50%-вий рівень  $(x_{1/2})$  - дозволяє одержати дві градації, система квантилей  $(x_{1/3}, x_{2/3})$  - три градації (наприклад, «нижче норми», «норма», «вище норми»), система квантилей  $(x_{1/3}, x_{1/2}, x_{2/3})$  - чотири градації.

Матриця ваг при двох градаціях може мати вигляд

$$\{s_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix},$$

що відповідає, наприклад, умовам аномальних значень прогнозованого елемента. При поділі на чотири градації матриця ваг має інший вигляд:

$$\{s_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.25)$$

Можна використовувати матрицю ваг вигляду

$$\{s_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.26)$$

Ці матриці є жорсткою умовою загальної справджуваності альтернативних прогнозів.

Можна запропонувати більш узагальнену матрицю ваг. Розділити помилки прогнозу на два види: розбіжність основних градацій і невірний прогноз тенденції. У кожному осередку матриці вага  $s_{ij}$  визначається у вигляді добутку

$$s_{ij} = (1 - a_{ij})(1 - b_{ij}), \quad (2.27)$$

де  $a_{ij}$  і  $b_{ij}$  — відповідно «штрафи», що накладаються при одиничному прогнозі П.

Кожна з наведених матриць ваг  $s = \{s_{ij}\}$  є деяка система оцінки прогнозу. Наведені оцінки далеко не єдині.

Вибір матриці ваг залежить, насамперед, від специфіки конкретного споживача, від його реакції на помилки прогнозу і поставлених задач оцінки якості прогнозування. Крім того, вибір матриці ваг буде визначатися розмірами  $n \times m$  матриці спряженості прогнозів.

У підсумку загальна справджуваність багатофазного методичного прогнозу визначається за формулою:

$$P_M = \frac{100}{N} \left( \sum_{i=j}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} n_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+m} s_{ij} n_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i-m} s_{ij} n_{ij} \right), \quad (2.28)$$

де індекс  $j=i+m$  - вказує на частоти праворуч від діагоналі  $n_{11} \dots n_{nm}$  (див. Табл. 2.2), а  $j=i-m$  — ліворуч від цієї діагоналі;  $s_{ij}$  — ваги.

Справджуваність випадкових багатофазових прогнозів визначається за формулою

$$P_c = \frac{100}{N} \sum_{i=j}^n \sum_{j=i}^m p(\Phi_i) n(\Pi_j), \quad (2.29)$$

де  $n(\Pi_j)$  – кількість випадків прогнозування  $j$ -й фази, а  $p(\Phi_i)$  дорівнює

$$p(\Phi_i) = \frac{1}{N} \left[ n_{i0} + \frac{1}{2} (n_{i0-1} + n_{i0+1}) \right]. \quad (2.30)$$

Як критерій застосовуваності прогнозів в оперативній практиці приймається нерівність  $P_m > P_c$ . Чим більше  $P_m$  у порівнянні з  $P_c$ , тим більшої довіри заслуговує методичний прогноз.

## **3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

### **3.1 Основні поняття**

Методика оцінки економічного ефекту використання матеріалів наукових досліджень у виробництві, включно метеорологічних, виділяє чотири групи науково-дослідних робіт:

- теоретичні дослідження,
- пошукові дослідження,
- науково-прикладні роботи,
- дослідно-конструкторські розробки.

Технічні розробки і МІ, що впроваджуються у виробництво й дозволяють підвищити ефективність МЗ, можна поділити на чотири групи:

1. Нормативні і режимні матеріали, що рекомендовані в БНП і в інших режимно-довідкових джерелах для практичного використання.

2. Гідрометеорологічні прогнози різних виглядів і передчасності попередження про НЯ й ОНЯ.

3. Науково-прикладні дослідження, які включають нормативну й оперативно-прогностичну МІ, та впроваджуються у виробництво для створення нових технологічних процесів виробництва в різних галузях.

4. Гідрометеорологічні прилади й автоматизовані системи.

За критерій економічного ефекту доцільно прийняти зростання продуктивності праці і пов'язане з нею зростання фізичного обсягу національного доходу. Визначити підвищення національного доходу за рахунок наукової чи оперативної МІ досить важко, а в ряді випадків і неможливо. Тому економічний ефект від використання МІ у виробництві визначається у вигляді економії на собівартості одиниці продукції чи роботи (у зменшенні експлуатаційних витрат) і капітальних вкладень. Особливістю нормативної і прогностичної МІ є те, що вона враховується при створенні продукції виробництва (наприклад, у сільському господарстві) і використовується для прямого заощадження матеріальних цінностей, трудових ресурсів і фінансів.

Для визначення економічного ефекту від МІ необхідне знання наступних основних статей розрахунку.

1. Витрати НДУ чи оперативно-прогностичних підрозділів ДГМСУ на дослідження, розробку гідрометеорологічних прогнозів чи складання різних виглядів нормативів мають назву перед виробничих витрат (Зпп).

Передвиробничі витрати на створення, наприклад, режимно-довідкових матеріалів складаються з:

- вартості технічного устаткування для метеорологічних спостережень, експериментів і камеральної обробки;

- заробітної платні персоналу, який виконує дослідження чи розробки;
- вартості виробничих відряджень;
- вартості робіт, виконаних іншими організаціями;
- накладних витрат, що містять у собі адміністративно-управлінські (заробітна платня адміністративно-управлінського апарату, витрати на комунальні послуги) і загальногосподарські (витрати на утримання споруд, устаткування, відрахування на капітальний ремонт, витрати на охорону праці, підготовку кадрів) і які враховуються відповідно до заробітної платні співробітників, що розробляють даний вид МІ.

Передвиробничі витрати на одержання прогностичної інформації складаються з вартостей: устаткування, приладів зв'язку, видаткових матеріалів, заробітної платні, накладних витрат, пропорційних заробітній платі співробітників БП, АМСГ, ГМБ чи ГМО.

2. Капітальні вкладення (*K*) — витрати праці, матеріально-технічних ресурсів і коштів на відтворення основних фондів. Капітальні вкладення - це складова частина капітального будівництва, що включає також проектно-пошукові роботи і будівельне виробництво.

Капітальні вкладення не включають витрати на:

- розробку проектів планування і забудови міст, типових проектів;
- придбання устаткування для діючих державних установ;
- капітальний ремонт основних фондів.

Капітальні вкладення це одноразові витрати на капітальне будівництво, на створення нових чи реконструкцію діючих основних фондів.

При оцінці економічного ефекту впровадження МІ у виробництво враховуються, як правило, капітальні вкладення споживача.

3. Собівартість (*C*) - грошові чи ресурсні витрати підприємств на виробництво і реалізацію продукції.

Відношення чистого доходу (прибутку) до собівартості продукції показує рентабельність виробництва. До витрат, що складають собівартість, відносять витрати на сировину, на основні і допоміжні матеріали, на енергоресурси, на амортизацію основних виробничих фондів, на заробітну платню, відрахування на соціальне страхування.

Науково-технічний прогрес збільшує витрати матеріальних ресурсів в структурі собівартості і зменшує частку витрат на оплату праці.

Для одержання економічного ефекту від використання МІ, необхідні попередні витрати з боку ДГМСУ - на одержання МІ, а з боку споживача - на ефективну реалізацію цієї інформації у виробництві.

4. Додаткові витрати споживача (*З<sub>дон</sub>*). Вони можуть бути пов'язані з використанням кліматичних характеристик. Так, у будівництві при проектуванні враховуються вітрові, термомігнетричні й інші нормативні дані. Їх використання дозволяє обирати найбільш вигідні варіанти

будівництва об'єкту. Додаткові витрати споживача в цьому випадку визначаються витратами на розробку проекту з урахуванням уточнених нормативних характеристик, наведених у БНП чи в інших довідкових джерелах.

Основні витрати споживача включають капітальні вкладення, чи одноразові витрати, і собівартості, чи поточні витрати. Сума одноразових і поточних витрат, зведена, за допомогою нормативного коефіцієнта ефективності  $E_n$ , до однієї одиниці виміру часу — року, називається приведеними витратами і визначається за формулою:

$$P = C + E_n \cdot K, \quad (3.1)$$

де:  $C$ -собівартість одиниці продукції, роботи споживача, (у даному виробництві) чи експлуатаційні витрати споживача, грн/рік;  $K$  - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди(капітальні вкладення, віднесені до обсягу продукції, що випускається, чи одноразові витрати), грн;  $E_n$  — нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень чи одноразових витрат.

Оскільки одноразові витрати здійснюються в різний час, то на підставі формули вони зводяться до поточного.

Проектування, будівництво й експлуатація об'єктів виробництва здійснюються таким чином, щоб виконувалася умова:

$$C + E_n \cdot K \rightarrow \min. \quad (3.2)$$

Це викликає необхідність розрахунку декількох варіантів вирішення цієї задачі і знаходження найкращого, за умовою (3.2).

На практиці, як правило, розглядаються і порівнюються два варіанти:

- базовий варіант-приведені витрати  $P_1$  на існуючий об'єкт;
- новий варіант-приведені витрати  $P_2$  на еквівалентний об'єкт відповідно до його проекту.

Новий варіант будівництва об'єкта чи виконання інших робіт припускає включення в проект чи у хід виконуваних робіт нову техніку, нову технологію виробництва відповідно до науково-технічних досягнень.

Базовий варіант - це такий рівень технології (організації) виробництва, що ґрунтується на використанні сучасних, але розроблених раніше засобів праці, нормативів і інформації.

Метеорологічна інформація, використана у виробництві в базовому варіанті, розглядається як отримана раніше і наявна в довідково-режимних джерелах до останнього часу. Базовий варіант, як повна відсутність МІ - нульовий базис, є крайньою умовою. Нульовий базис іноді використовується при впровадженні у виробництво техніки (устаткування,



приладів і т.п.), що не має еквівалента. За існуючою якістю МІ за базовий варіант можна брати такі проекти, роботи і технологію виробництва, що засновані, наприклад, на даних існуючих кліматичних довідників і нормативів, наведених у БНП, чи на стандартних прогнозах (кліматична норма, інерційний чи прогноз прогнози на рівні випадкових).

Новий варіант припускає інший, більш досконалий рівень технології виробництва внаслідок впровадження більш якісних засобів праці, нормативів і інформації.

Вибір нового варіанту з урахуванням МІ визначається уточненими значеннями нормативів, довідкових матеріалів, новими методами прогнозу гідрометеорологічних умов чи існуючими оперативними прогнозами, справджуваність яких постійно зростає внаслідок використання більш досконалих методів прогнозування.

Базовий і новий варіанти рішень - це економічні показники рівня організації виробництва, в основу яких закладається МІ різної точності.

За умови, що існує базовий і новий варіант приведених витрат, можна знайти коефіцієнт ефективності витрат  $E$ , що використовується для приведення усіх витрат до вимірів їхніх за рік:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (3.3)$$

де  $C_1$  і  $C_2$ - собівартість одиниці продукції виробництва, витрати виробництва відповідно за базовим і новим варіантами ( $C_1 > C_2$ );

$K_1$  і  $K_2$ - капітальні витрати за базовим і новим варіантами ( $K_2 > K_1$ ).

Коефіцієнт ефективності витрат  $E$  показує мінімально припустимий прибуток — зменшення витрат чи зниження собівартості на одиницю капітальних витрат.

Значення нормативного коефіцієнта ефективності витрат  $E_n$  встановлюється на підставі коефіцієнтів ефективності  $E_{ni}$  за окремими виробництвами галузі й у середньому значення  $E_n$  дорівнює 0,15.

Величина, обернена  $E_n$ , є нормативним строком окупності  $T_n$ :

$$T_n = \frac{1}{E_n}. \quad (3.4)$$

Стосовно до МІ коефіцієнт  $E_n$  також береться рівним 0,15. Для оцінки економічного ефекту від використання деяких режимних матеріалів, наприклад даних за Світовий океан, рекомендовано  $E_n = 0,10$ , тоді строк окупності відповідно до формули складає 10 років.

Впровадження у виробництво нових нормативів і оперативне використання прогнозів погоди веде до змін економічних показників у сфері споживача. У результаті дешевшають проектні і будівельні роботи,

зменшуються витрати робочої сили, часу і видаткових матеріалів.

Застосовувати МІ необхідно конкретно у відповідності зі специфікою споживача, вибірково - даний вид інформації повинний знайти своїх споживачів — і свідомо перспективно.

Вигода чи заощадження матеріальних засобів, що можуть бути чи вже отримані внаслідок більш повного урахування МІ у виробництві за винятком витрат на її одержання, має назву економічний ефект.

У залежності від виробничої основи одержання МІ її економічний ефект визначається по-різному.

Економічний ефект впровадження наукових метеорологічних розробок НДУ ДГМСУ визначається за різницею приведених витрат, капітальних вкладень чи експлуатаційних витрат споживача в базовому і новому варіантах за винятком витрат НДУ ДГМСУ на одержання даного виду МІ. У цьому випадку економічний ефект, обумовлений за різницею приведених витрат, показує сумарну економію трудових, матеріальних і фінансових ресурсів унаслідок впровадження у виробництво більш точної режимної, нормативної чи прогностичної інформації. Формула економічного ефекту в загальному вигляді записується:

$$E = \beta [N(P_1 - P_2) - E_n Z_{mn}], \quad (3.5)$$

де:  $P_1$  і  $P_2$  — приведені витрати споживача в базовому і новому варіантах,  $Z_{mn}$  — передвиробничі витрати в ДГМСУ,  $E_n$  — нормативний коефіцієнт ефективності,  $\beta$ -частка ДГМСУ від загального ефекту,  $N$ -обсяг виробництва в новому варіанті чи кількість використовуваної МІ.

Економія на річних приведених витратах є узагальненою економічною оцінкою використання результатів МІ у виробництві.

У залежності від специфіки споживача і впроваджуваної інформації остання формула може бути представлена в різних модифікаціях.

Витрати НДУ на наукові дослідження завжди різні, а економічний ефект однієї і тієї ж наукової розробки може виявитися неоднаковим. Для порівняння виробничої корисності отриманих результатів вводять поняття економічної ефективності наукових досліджень, яке є відношенням економічного ефекту до передвиробничих витрат:

$$P = \frac{E}{Z_{mn}}. \quad (3.6)$$

За одиницю виміру економічної ефективності можна взяти гривню економічного ефекту на гривню витрат.

Економічна ефективність є кінцевою оцінкою результативності наукової розробки, виконаної в НДУ ДГМСУ.

Оцінка економічного ефекту й ефективності використання МІ припускає, що деякі економічні показники споживача відомі, а саме:

- витрати споживача на виконання спостережень і їх обробку;
- витрати на будівництво і відновлення об'єктів;
- витрати на перевезення різними видами транспорту;
- кількість електроенергії, промислової і сільськогосподарської продукції, що виробляється;
- інші показники.

Вони можуть мати, як у вартісний (грошовий), так і в натуральний вираз. Для цього використовуються економічні нормативи.

Розрізняють очікуваний (потенційний) і фактичний економічні ефекти.

Очікуваний економічний ефект є попередньою оцінкою економічної користі даного виду МІ. Фактичний економічний ефект визначається разом зі споживачем після впровадження даного виду МІ у виробництві.

### **3.2 Економічна ефективність наукових досліджень**

При плануванні виробничої діяльності, при проектуванні і будівництві широко використовуються результати досліджень режиму метеорологічних величин, а також різні нормативні метеорологічні характеристики. Так, наприклад, у будівництві нормативні характеристики (кліматичні параметри) дозволяють вибрати розміри конструкцій проєктованих будинків, і розрахувати їхні тепловтрати, визначити ожеледно - вітрові навантаження на проєктовані висотні спорудження і ЛЕП і виконати багато інших інженерних розрахунків. На підставі щорічної мінливості дефіциту тепла встановлюються резерви палива для теплоелектроцентралей. Використання кліматичних показників у сільському господарстві дозволяє вирішувати такі задачі, як вибір зернових культур і напрямків розвитку тваринницького господарства, вибір захисних мір, і багато інших.

Особливо широко використовуються нормативні характеристики в будівництві. Їх урахування приводить до зменшення витрат на будівництво чи до подорожчання будівництва. Звичайно, зниження видаткових статей споживача, наприклад витрат на будівництво, не завжди може виявитися вигідним. У кожному конкретному випадку повинні розглядатися не тільки вигода на даний момент, але і можливі економічні наслідки в майбутньому, щоб поточна вигода через декілька років не обернулася багаторазовим програвом.

Розглянемо найбільш розповсюджені модифікації формули економічного ефекту.

**Економічний ефект скорочення витрат на вишукування ( $Z_{виш}$ ) і обробку ( $Z_{обр}$ ) даних метеорологічних спостережень при проектуванні.**

Проектування передбачає інженерні вишукування, що включають одержання необхідних метеорологічних нормативів. Нові нормативні дані розробляються оперативними підрозділами і науково-дослідними установами ДГМСУ, що замінює цілий комплекс робіт, який повинен виконати споживач для одержання аналогічних результатів — більш точні нормативні дані в порівнянні з тими, що використовувалися ним дотепер.

Дослідницькі роботи характеризуються експлуатаційними витратами. Звідси  $K_1=0$  і  $K_2=0$ , а  $C_1=Z_{виш1}+Z_{обр1}$  і  $C_2=Z_{виш2}+Z_{обр2}$ .

За цих умов формула економічного ефекту має вигляд

$$E_{виш} = \beta \left\{ NE_n \left[ (Z_{виш1} + Z_{обр1}) - (Z_{виш2} + Z_{обр2}) \right] - E_n Z_{м} \right\}, \quad (3.7)$$

де:  $Z_{виш1}$ ,  $Z_{обр1}$  - витрати споживача на вишукування й обробку даних гідрометеорологічних спостережень за базовим варіантом, тобто витрати, які споживач зобов'язаний був понести, оскільки наявні в його розпорядженні нормативні дані вимагали уточнення, а, отже, і проведення спеціальних гідрометеорологічних спостережень;

$Z_{виш2}$ ,  $Z_{обр2}$  - витрати споживача на вишукування й обробку даних гідрометеорологічних спостережень для цілей проектування після одержання їм нових нормативних характеристик, розрахованих НДУ ДГМСУ, тобто при новому варіанті;  $N$  - кількість еквівалентних споживачів протягом року;  $Z_{м}$ —передвиробничі витрати;  $E_n$ —нормативний коефіцієнт ефективності витрат, який дорівнює 0,15.

Якби споживач ґрунтувався на базовому варіанті, то для цілей проектування йому варто було б відкрити кілька відомчих станцій, виконати спеціальні експедиційні роботи і зібрати й обробити гідрометеорологічні дані. Витрати  $Z_{виш1}$  і  $Z_{обр1}$  у цьому випадку будуть великі. Витрати  $Z_{м}$  дозволяють завчасно на підставі методичних розробок і матеріалів гідрометфонду ДГМСУ розрахувати в НДУ ДГМСУ необхідні споживачу уточнені гідрометеорологічні нормативні дані. У цьому випадку витрати споживача на організацію і проведення спостереженні  $Z_{виш2}$  дорівнюють нулю чи вкрай малі, а витрати на обробку  $Z_{обр2}$  зводяться лише до витрат на спеціальні розрахунки при проектуванні.

**Економічний ефект використання уточнених нормативних характеристик для визначення додаткових витрат на спорудження об'єктів.**

Практика експлуатації деяких об'єктів (гідротехнічних споруджень, висотних щогл, опор ЛЕП і ліній зв'язку) показує, що вартість їхнього будівництва і реконструкції в деяких районах необхідно збільшувати (підвищення міцності конструкцій, надійності захисних споруджень). Це приводить до збільшення як капітальних вкладень, так і експлуатаційних витрат у порівнянні з вкладеннями і витратами за базовим варіантом, що

розрахований на менші нормативні метеорологічні характеристики.

При будівництві ЛЕП, наприклад, потрібно, щоб додаткові витрати на будівництво чи реконструкцію були меншими витрат на відновлення ушкодженого чи зруйнованого об'єкту, що побудований з урахуванням раніше отриманих нормативних метеорологічних характеристик, і збитку в промисловості чи сільському господарстві, що викликаний припиненням подачі електроенергії.

Вираз для оцінки економічного ефекту додаткових витрат має вигляд:

$$E_{\text{дон}} = \beta \{ N [ E_n (K_1 - K_2) - C_a ] - E_n Z_{mn} \}, \quad (3.8)$$

де:  $K_1$  - капітальні витрати на ремонт чи відновлення об'єкта після аварії, пов'язані з тим, що об'єкт будувався за заниженими гідрометеорологічними нормативами, базовий варіант;  $K_2$  - додаткові капітальні витрати на будівництво чи реконструкцію об'єкта з урахуванням більш високих, уточнених метеорологічних нормативів, новий варіант;  $C_a$  - експлуатаційні витрати за період аварій і перерв у роботі;  $N$  - кількість об'єктів, що будуть будуватися при збільшених метеорологічних нормативах.

У цілому за ДГМСУ економічний ефект (абсолютне значення) використання нормативної МІ складається з перерахованих і інших значень  $E_i$ :

$$E = E_{\text{вип}} + E_{\text{дон}} + \dots + E_n. \quad (3.9)$$

За наведеними формулами розрахунку економічного ефекту можна розрахувати сумарний економічний ефект за рік чи декілька років.

Окрім абсолютного значення економічного ефекту визначається сумарна економічна ефективність використання МІ як відношення сумарного економічного ефекту до сумарних передвиробничих витрат:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n E_n Z_{mn}}, \quad (3.10)$$

де:  $E_i$  — економічний ефект використання нормативних даних у різних галузях.

Економічна ефективність витрат на даний вид МІ і додаткових витрат споживача може бути розрахована за формулою:

$$P^* = \frac{C_1 + C_2}{Z_{mn} + \Delta K} \geq E_n, \quad (3.11)$$

де:  $P^*$ - економічна ефективність витрат;  $C_1$  і  $C_2$  - експлуатаційні витрати споживача за базовим і новим варіантами, грн/рік;  $\Delta K$  - додаткові капітальні вкладення в виробництво в цілому за галузь ( $\Delta K = K_2 - K_1$ ), грн/рік.

У цій формулі  $\Delta K$  може бути замінене на додаткові витрати споживача чи витрати на запобіжні заходи, якщо використовується оперативна прогностична інформація.

### **3.3 Економічна ефективність метеорологічних прогнозів**

#### **3.3.1 Принципи формування витрат на гідрометеорологічну інформацію та гідрометеорологічну продукцію**

Витрати на ГМІ й ГМП формуються відповідно до законодавства України. Це визначається тим, що діяльність ДГМСУ, щодо спеціалізованого гідрометеозабезпечення є завданням державного рівня та не спрямована на витяг прибутку й здійснюється на нормативній і правовій основі для некомерційних організацій.

Розрахунок витрат на ГМІ й ГМП потребує урахування всіх витрат ДГМСУ. При цьому повинні враховуватися витрати безпосередніх й непрямих (інших) виконавців, що здійснюють виробництво ГМІ й ГМП, а також загально галузеві витрати на цю діяльність.

Повні витрати ДГМСУ на ГМІ й ГМП містять у собі:

Прямі витрати - витрати організацій й установ ДГМСУ, їхніх підрозділів, що безпосередньо беруть участь у створенні ГМІ й ГМП, обумовлені за прямою ознакою, тобто ті витрати, які можна визначити прямим рахунком (за даними бухгалтерського урахування, первинного урахування й звітності) і віднести на конкретні ГМІ й ГМП.

Непрямі витрати - витрати організацій й установ ДГМСУ, їхніх підрозділів, що безпосередньо не беруть участь в забезпеченні споживачів конкретної ГМІ й ГМП, але виконують роботи, без яких неможливе створення цієї інформації (продукції).

Кошти, отримані на відшкодування непрямих витрат, підлягають збору й розподілу на рівні територіальних органів управління в галузі гідрометеорології й суміжних з нею галузях.

До непрямих витрат при створенні ГМІ й ГМП відносять:

- витрати на функціональні, допоміжні й адміністративно-господарські підрозділи;

- для ГМП у число непрямих витрат, крім вищевказаних, додатково (в обов'язковому порядку) включаються витрати на виконання спостережень - первинну ГМІ, яка є "сировиною" для ГМП.

У повні витрати на конкретні ГМІ й ГМП непрямі витрати включаються частково, тобто у відповідній долі на цю ГМІ чи ГМП.

Частка витрат на функціональні, допоміжні й адміністративно-господарські підрозділи визначається організаціями і установами ДГМСУ самостійно (за даними первинного урахування).

Частка витрат на виконання спостережень - первинну інформацію - через коефіцієнти, обумовлені для галузі діючими документами.

Аналіз діяльності гідрометеослужб показав, що витрати (без урахування загальногалузевих витрат) розподіляються в такий спосіб:

- на виробництво спостережень – 52%;
- на випуск прогностичної продукції – 36%;
- на випуск режимно-довідникової продукції(РДП) - 12%.

Дані гідрометеорологічних спостережень надаються у "сирому" вигляді, а також використовуються для підготовки прогностичної й РДП.

На підставі маркетингових досліджень гідрометеорологічного ринку витрати на виробництво спостережень (відповідно до обсягів споживання ГМІ й ГМП) можна розподілити (віднести) на кінцеву продукцію, яка надана за договорами, у такий спосіб:

- на первинну ГМІ, що реалізована в "сирому" вигляді – 18%;
- на прогностичну продукцію – 63%;
- на РДП – 19%.

На підставі вищевикладеного були виведені інтегральні коефіцієнти (К) для урахування витрат на первинну інформацію у вартості прогностичної й РДП:

- для прогностичної продукції -  $K = 0.9$  від прямих витрат на виробництво прогностичної продукції;
- для РДП -  $K = 0.8$  від прямих витрат на виробництво РДП.

Загальногалузеві витрати це витрати на базову інфраструктуру галузі, тобто роботи, які виконуються організаціями й установами ДГМСУ в інтересах галузі в цілому. Витрати на їхнє виконання неможливо віднести на конкретні ГМІ й ГМП прямим рахунком.

До таких робіт відносять:

- розробку й удосконалювання методів, моделей, технологій обробки гідрометеорологічних даних і даних про забруднення НС;
- підтримку технологій випуску базової ГМП й даних про забруднення НС, випуск матеріалів щодо аналізу й прогнозу метеоданих;
- методичну роботу на мережі за всіма напрямками діяльності (метеорологія, гідрологія, аерологія, авіаметеорологія й т.п.);
- науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи, що забезпечують функціонування й розвиток галузі;
- роботи зі стандартизації, ліцензування, сертифікації, наукової організації праці й т.п.;
- вирішення майново-правових питань;
- організацію технічного й технологічного забезпечення галузі;

- розробку нормативно-правових документів щодо організації робіт, координації діяльності, ціноутворенню й т.п.;
- оцінку економічної ефективності від використання ГМІ в діяльності галузей економіки;
- підвищення кваліфікації керівників і фахівців галузі;
- ведення централізованого урахування й звітності в усіх напрямках діяльності галузі (поза Центральним апаратом ДГМСУ);
- контроль якості робіт, продукції й послуг галузі;
- виконання міжнародних зобов'язань;
- видавничу діяльність й ін.

Витрати на ці роботи становлять 15% від суми прямих і непрямих витрат на виробництво й випуск ГМІ й ГМП. Цей відсоток був отриманий з співвідношення витрат на перераховані вище роботи до суми прямих й непрямих витрат галузі на виробництво й випуск ГМІ й ГМП, що розраховані на основі галузевої статистичної звітності.

Виходячи із цього, для зручності розрахунку суми загальногалузових витрат, використовується коефіцієнт, який дорівнює 0.15 і має назву коефіцієнт загальногалузових витрат.

Вихідним матеріалом для визначення витрат на ГМІ й ГМП є:

- за фондом оплати праці з нарахуваннями - штатний розклад всіх органів ДГМСУ, законодавчо встановлені виплати за фондом оплати праці, норми нарахувань в позабюджетні фонди;
- за матеріальними і прирівняними до них витратами - діючі ціни й тарифи на видаткові матеріали, послуги сторонніх організацій й ін.;
- за капітальними витратами - діючий типовий табель приладів й устаткування для виробництва стандартних гідрометеорологічних спостережень і контролю забруднення НС, діючі ціни на гідрометеорологічні прилади, плани технічного переоснащення й ін.

### **3.3.2 Розрахунок ціни гідрометеорологічної інформації й гідрометеорологічної продукції**

Для визначення ціни ГМІ й ГМП застосовується метод калькулювання прямих витрат з використанням усереднених коефіцієнтів у галузі, що дозволяє враховувати комплексний характер виробництва ГМІ й ГМП. Даний метод розрахунку ціни на ГМІ й ГМП застосовується в тому випадку, якщо для спеціального гідрометеорологічного забезпечення конкретного споживача відсутні інші нормативні документи, що регулюють визначення ціни (затверджені тарифи, прейскуранти).

Пропонований метод визначення ціни ГМІ й ГМП є найбільш простим і доступним на цей час і дозволяє максимально враховувати всі витрати системи ДГМСУ. Ціну ГМІ/ГМП з урахуванням повних витрат ДГМСУ можна розраховувати за узагальненою формулою:



$$C_{гми/гмп} = (B_{прямі} + B_{непрямі} + B_{згв}), \quad (3.12)$$

де:  $C_{гми/гмп}$  - ціна ГМІ/ГМП, надаваної споживачеві;  $B_{прямі}$  - прямі витрати на одержання ГМІ/ГМП;  $B_{непрямі}$  - непрямі витрати на ГМІ/ГМП (на функціональні, допоміжні й адміністративно-господарські підрозділи, а для прогностичної й РДП частка витрат на первинну інформацію, що відноситься на дані типи ГМІ/ГМП);  $B_{згв}$  - частка загальногалузових витрат, розрахованих за єдиним для галузі коефіцієнтом.

Ціни конкретних типів ГМІ/ГМП (первинної, прогностичної й режимно-довідникової) розраховуються, на основі формули (3.12), за формулами (3.13), (3.15), (3.19), що наведені нижче.

### 3.3.2.1 Розрахунок ціни гідрометеорологічної інформації й гідрометеорологічна продукція

Первинна інформація використовується при складанні прогнозу, формуванні баз даних (оперативних і режимних), а також надається зовнішньому споживачеві як така (продукт реалізації).

Її ціна розраховується за формулою:

$$C^{перв} = (B^{перв} + 0,15B^{перв}), \quad (3.13)$$

де:  $C^{перв}$  - ціна первинної інформації, наданої споживачеві; 0,15 - коефіцієнт, що враховує загальногалузові витрати;  $B^{перв}$  - витрати на одержання первинної інформації.

Витрати на одержання первинної інформації розраховуються за формулою:

$$B^{перв} = B_{ін}^{перв} + B_{непрямі}^{перв} \quad (3.14)$$

де:  $B_{ін}^{перв}$  - прямі витрати на одержання первинної інформації;  $B_{непрямі}^{перв}$  - частка непрямих витрат на функціональні, допоміжні й адміністративно-господарські підрозділи, що відносяться на первинну інформацію.

### 3.3.2.2 Розрахунок ціни прогностичної продукції

Ціна прогностичної продукції, яка надається споживачеві, розраховується за формулою:

$$C^{прогн} = \left[ \left( B^{прогн} + B_n^{перв} \right) + 0,15 \left( B^{прогн} + B_n^{перв} \right) \right], \quad (3.15)$$

де:  $C^{прогн}$  - ціна прогностичної продукції, надаваної споживачеві; 0,15 - коефіцієнт, що враховує загальногалузеві витрати;  $B^{прогн}$  - витрати на одержання прогностичної продукції;  $B_n^{перв}$  - частка витрат на первинну інформацію, що є "сировиною" для прогностичної продукції.

Витрати на одержання прогностичної продукції розраховуються за формулою:

$$B^{прогн} = B_{ін}^{прогн} + B_{непрямі}^{прогн} \quad (3.16)$$

де:  $B_{ін}^{прогн}$  - прямі витрати на одержання прогностичної продукції;  $B_{непрямі}^{прогн}$  - частка непрямих витрат на функціональні, допоміжні й адміністративно - господарські підрозділи, віднесена до прогностичної продукції.

Витрати на первинну інформацію, що є "сировиною" для прогностичної продукції, визначаються за формулою:

$$B_n^{перв} = B^{прогн} \cdot 0,9 D_{онопр} \quad (3.17)$$

де: 0,9 - коефіцієнт, що враховує частку витрат на первинну інформацію, що є "сировиною" для прогностичної продукції;  $D_{онопр}$  - поправочний коефіцієнт дорівнює коефіцієнту до заробітної платні, що враховує роботу у важких районах місцевості і використовується для урахування специфіки мережі спостереження в організаціях ДГМСУ, розташованих у даних районах. В інших організаціях  $D_{онопр} = 1$ .

### 3.3.2.3 Розрахунок ціни режимно-довідникової продукції

Ціна РДП, що надається споживачеві, розраховується за формулою:

$$C^{реж} = \left[ B^{реж} + B_p^{перв} + 0,15 \left( B^{реж} + B_p^{перв} \right) \right] \quad (3.18)$$

де:  $C^{реж}$  - ціна РДП, надаваної споживачеві; 0,15 - коефіцієнт, що враховує загальногалузеві витрати;  $B^{реж}$  - витрати на одержання РДП;  $B_p^{перв}$  - частка витрат на первинну інформацію, що є "сировиною" для РДП.

Витрати на одержання РДП розраховуються за формулою:

$$B^{реж} = B_{ін}^{реж} + B_{непрямі}^{реж} \quad (3.19)$$

де:  $V_{ін}^{реж}$  - прямі витрати на одержання РДП (без загальногалузевих витрат);  $V_{непрямі}^{реж}$  - частка непрямих витрат на функціональні, допоміжні й адміністративно - господарські підрозділи, що відноситься до РДП;

Витрати на первинну інформацію, що є "сировиною" для РДП, визначаються за формулою:

$$V_n^{перв} = V^{реж} \cdot 0,8 Do_{нопр}, \quad (3.20)$$

де  $0,8$  - коефіцієнт, що враховує частку витрат на первинну інформацію, що є "сировиною" для РДП;  $Do_{нопр}$  - поправочний коефіцієнт дорівнює коефіцієнту до заробітної платні, що враховує роботу у важких районах місцевості, і використовується для урахування специфіки мережі спостереження в організаціях ДГМСУ, розташованих у даних районах. В інших організаціях  $Do_{нопр} = 1$ .

Кошторис витрат на первинну інформацію, на прогностичну продукцію, на РДП оформлюється за спеціальними формами.

### 3.4 Умови оцінки економічного ефекту прогнозів погоди

Зростання виробництва вимагає постійного проведення режиму економії - одного з важливих принципів господарювання. Він складається в заощадженні робочого часу, матеріальних засобів і коштів.

Економія засобів йде за двома напрямками:

економія у виробництві,

економія за рахунок правильного урахування і використання впливу природного середовища і, зокрема, кліматичних і погодних умов.

Цінність МІ включає інформативність і корисність.

Інформативність прогнозів погоди відбиває рівень адекватності прогностичної інформації майбутньому фактичному стану атмосфери.

Корисність їх є цільовою категорією цінності і необхідною передумовою економічного ефекту прогнозів.

Нехай  $\sigma_o(\eta)$  — середня квадратична помилка оперативного прогнозу, що враховує всю інформацію, що надходить у прогностичний центр (джерело інформації), а  $\sigma(\eta)$  — середня квадратична помилка випадкового, інерційного чи кліматологічного прогнозу.

Тоді в якості показника корисності прогнозів можна обрати:

$$\chi(\eta) = 1 - \frac{\sigma_o(\eta)}{\sigma(\eta)}. \quad (3.12)$$

Істотно, що  $\chi(\eta) \leq 1$ . При  $\chi(\eta) = 1$  — джерело дає абсолютно корисну інформацію, при  $0 < \chi(\eta) < 1$  — корисну інформацію, при  $\chi(\eta) = 0$  — джерело не дає інформації, а при  $\chi(\eta) < 0$  — дає шкідливу (збиткову) інформацію.

Отримана в такий спосіб корисність прогнозів показує потенційні можливості використання даного виду прогностичної інформації, однак, вона ще не говорить про її економічно вигідне використання для даного споживача. Проте є галузі застосування прогнозів погоди, де перевага віддається в першу чергу їхньої корисності.

Застосування прогнозів погоди завжди корисно. Головне ж у тім, наскільки використання їх економічно ефективно. Загалом, неважко з'ясувати, що застосовувати прогнози вигідніше там, де споживач несе менші середні збитки з метеорологічних причин.

Орієнтуючись на середні збитки за метеорологічними причинами, можна зробити висновок про реакцію виробництва на погодні умови. Зменшення середніх збитків в однакові сезони чи з роками є позитивним фактом. Однак він не дає підстави для висновку, що прогнози і штормові попередження дійсно були економічно корисними. Це зумовлено двома обставинами, по-перше, у ті самі сезони погода може істотно розрізнятися. По-друге, з роками з розвитком структури і технології виробництва удосконалюються захисні міри, що веде до скорочення матеріальних утрат за рахунок несприятливої погоди.

Таким чином, зміна середніх збитків споживача не може бути надійною мірою якості метеорологічного забезпечення.

Нехай споживач (наприклад, транспорт) має ряди свідочств про середні збитки й оцінки прогнозів. Чи є їхній протилежний хід (успішність прогнозів росте - середні збитки зменшуються) указівкою на економічну ефективність прогнозів? У цілому немає. Але для транспорту в ряді випадків у зв'язку з настанням тривалого періоду сприятливої погоди успішність прогнозів може виявитися вище середньої за рахунок росту справджуваності відсутності небезпечних явищ. При цьому, природно, зменшуються і збитки за метеорологічними причинами. Визначити корисність прогнозів тільки по ходу змін середніх збитків і справджуваності прогнозів у даному випадку не є можливим.

В умовах несприятливої, скажемо штормової, погоди успішний прогноз її початку буде економічно корисним. У наступному при збереженні несприятливих погодних умов корисність успішного прогнозу зменшується з тієї причини, що споживач уже працює в цих умовах. Чим стійкіше така погода і чим більш тривалий час вона спостерігається, тим більше імовірно, що споживач сам досить надійно може прогнозувати її збереження, тобто складати успішні інерційні прогнози. Тому методичні прогнози будуть представляти для нього економічний інтерес тільки в тому випадку, якщо вони будуть більше сприяти зниженню втрат з метеорологічних причин, чим інерційні прогнози. У підсумку інерційний

прогноз приймається за один з базових варіантів оцінки економічного ефекту\_оперативних методичних прогнозів.

Той хто прогнозує нерідко зіштовхується з такими синоптичними процесами, коли приблизно з однаковою імовірністю можна очікувати розвиток одного з них. У таких ситуаціях формулювання прогнозу, навіть вдалого, може виявитися випадковим. Будучи успішними, такі випадкові прогнози нерідко є економічно вигідними. Споживач не орієнтується на міру обґрунтованості прогнозів, а вирішує свої задачі відповідно до прогнозу. Але як багато може бути випадкових прогнозів і як врахувати їх при оцінці економічного ефекту оперативного прогнозування погоди?

Чим складніше прогнозувати окремі явища чи умови погоди при великій їхній мінливості, тим більше виникає необхідність попередньої оцінки економічного ефекту методичних прогнозів стосовно випадкових прогнозів, що можливо розглядати як інший базовий варіант. Можна заздалегідь стверджувати, що в переважній більшості випадків методичні прогнози будуть економічно більш ефективними для даного споживача.

На скільки ефективніше — це буде залежати від справджуваності прогнозів і специфіки споживача.

При низькій справджуваності методичних прогнозів споживач може орієнтуватися на норму. У цьому випадку економічний ефект методичного прогнозу можна встановити, якщо за базовий варіант приймати кліматологічний прогноз.

Таким чином, оцінці економічного ефекту методичних прогнозів повинний передувати вибір базового варіанта, тобто одного зі стандартних прогнозів: інерційного, випадкового чи кліматологічного. Стандартні прогнози не вимагають аналітичної роботи синоптика з оперативними матеріалами, що повинно враховуватися при оцінці базового варіанта.

Для оцінки потенційного економічного ефекту прогнозів для даного споживача варто розрахувати економічний ефект ідеальних прогнозів, а для порівняльної оцінки економічного ефекту методу прогнозування можна прийняти деякий «середній» або раніше застосований метод прогнозування.

Вибір початкового рівня відліку економічного ефекту прогнозів необхідний для порівняльності одержуваних результатів, об'єктивізації методів оцінки економічного ефекту і їхнього подальшого удосконалювання. За цих умов, для даного споживача можна встановити, який метод чи спосіб прогнозування є менш збитковим чи більш вигідним.

Таким чином, загальним принципом оцінки економічної корисності прогнозів є порівняння збитків (чи вигод), що одержує споживач при використанні методичних прогнозів, зі збитками (чи вигодами), що він одержує, орієнтуючись на деякі стандартні прогнози.

### 3.5 Параметри оцінки економічного ефекту прогнозів погоди

Основними економічними параметрами, що дозволяють оцінити виробничу корисність прогнозів погоди, чи показниками корисності, є:

- втрати (збитки) за метеорологічними причинами;
- попередні витрати на запобіжні заходи;
- економія матеріальних засобів чи прибуток.

Збиток за метеорологічними причинами  $s$  - матеріальні втрати в окремій галузі чи на окремому виробничому об'єкті, викликані несприятливими умовами погоди чи невикористанням у господарських цілях сприятливої погоди.

Збитки можуть бути викликані подорожчанням проектування і будівництва промислових, енергетичних, сільськогосподарських, комунальних і житлових об'єктів, а також різних технічних засобів у зв'язку з завищенням запасів міцності, внаслідок недостатнього знання метеорологічних нормативів і умов погоди.

У різних галузях господарства ці збитки помітно розрізняються і їх можна ще більш диференціювати в залежності від специфіки виробництва.

Для наступної оцінки економічного ефекту прогностичної інформації необхідно встановити причини і величину збитків.

Збитки можуть бути з вини оперативних підрозділів служби погоди, з вини організацій, що не прийняли своєчасних мір на підставі прогнозів і штормових попереджень, а також унаслідок сформованих тривалих важких (аномальних) гідрометеорологічних і агрометеорологічних умов.

У господарстві країни щорічні збитки з метеорологічних причин можуть досягати дуже великих значень.

Максимальні збитки несе сільське господарство. Значні збитки несе також наземний транспорт, особливо в холодну половину року. Сніжні замети, тумани, ожеледі і сильні морози не тільки утрудняють, але і нерідко на тривалий час паралізують роботу транспорту. У холодну половину року тривалі тумани у відкритих кар'єрах нерідко переходять у смог з концентрацією СО на глибоких шарах вище ПДК, що спричиняє до припинення усіх виглядів робіт у кар'єрі. Авіація, найбільш залежний від погоди вид транспорту, зазнає значних втрат при несприятливих метеорологічних умовах (тумани, сильні замети і курні бури, грози і т.п.).

Несприятливі стани погоди і моря знижують ефективність виробничих операцій морського флоту.

Розрізняють наступні види збитків за метеорологічними умовами.

Можливі збитки  $u_6$  — це збитки, що могли мати місце (чи мають місце), якби споживач не мав необхідної для їхнього запобігання МІ чи не використовував інформацію, що надійшла до нього. Це максимальні збитки, спричинені окремим НЯ погоди чи комплексом НЯ погоди.

Можливі збитки мають місце й у тих випадках, коли сприятлива

погода враховується нерационально, економічно неповно. Зменшити можливі збитки можна шляхом ефективних запобіжних заходів при завчасному й успішному прогнозі НЯ, а також використовуючи прогноз тривалої сприятливої погоди.

Збитки, які можна відвернути  $u_n$  — це та частина можливих збитків, що вдається запобігти внаслідок успішних прогнозів чи попереджень про НЯ й ОНЯ і вчасно прийнятих запобіжних заходів. Це є виграш споживача внаслідок урахування метеорологічних умов.

Реальні збитки  $u_p$  — такі збитки, які ще є в різних галузях господарства при існуючому рівні справджуваності прогнозів погоди й ефективності запобіжних заходів. Вони показують залежність виробництва від метеорологічних умов. У свою чергу реальні збитки поділяються на потенційно відворотні і невідворотні.

Потенційно відворотні збитки  $u_{pnn}$  — це та частина реальних збитків, яких можна уникнути при удосконалюванні методів прогнозування і більш раціональному використанні прогнозів. Ці збитки вказують на резерв підвищення економічної ефективності метеорологічного забезпечення.

Невідворотні (неминучі) збитки  $u_{pn}$  — ті збитки, яких не можна запобігти, якщо навіть НЯ завчасно передбачене прогнозом. Найчастіше невідворотні збитки спостерігаються в сільському господарстві. В даний час навіть при наявності гарних прогнозів можна запобігти чи зменшити дуже малу частку таких збитків. Значна частина їх залишається не відверненою. Тільки активні впливи на атмосферні процеси, а також агротехнічні, меліоративні й інші заходи дозволять помітно послабити вплив погодних умов на сільськогосподарське виробництво і зменшити збитки такого роду. У кожній галузі споживач повинний знати середні збитки з метеорологічних причин.

За характером впливу погоди на виробничий об'єкт реальні збитки можуть бути:

- прямими (руйнування промислових і інших об'єктів, вимерзання посівів, обриви ліній електропередачі і т.п.),
- непрямыми, котрі з'являються через побічні виробничі операції (простій виробничих об'єктів і транспортних засобів внаслідок ушкодження ліній електропередачі й ін.).

Величина реальних збитків визначається такими факторами:

- ступенем впливу (інтенсивністю і тривалістю) НЯ на об'єкт і його вартістю;
- завчасністю, з якою передвіщені несприятливі чи сприятливі умови погоди;
- ефективністю запобіжних заходів для запобігання чи зменшення збитків, а також раціональним плануванням робіт і заходів з метою економічно ефективного використання умов погоди.

У першому наближенні можна вважати, що реальні збитки при

наявності попередження про НЯ й ОНЯ прямо пропорційні інтенсивності явища  $J$  і обернено пропорційні завчасності прогнозу явища  $\tau$  і ефективності захисних мір — попередніх витрат  $Z_{nm}$ :

$$u_p = \frac{aJ}{\tau Z_{nm}}, \quad (3.13)$$

де:  $a$  - коефіцієнт пропорційності.

Застосовувати цю формулу можна в тому випадку, якщо вибрати спосіб виміру інтенсивності явища.

Введемо поняття міри ефективності захисту від несприятливих впливів погоди  $M$  як відношення відвернених збитків до можливих:

$$M = \frac{u_n}{u_e}. \quad (3.14)$$

Чим менше  $M$ , тим гірше виконуються захисні заходи у даній галузі на підставі МІ. Навіть при добрих прогнозах збиток може бути великий, якщо споживач не вжив своєчасних і дійових заходів чи якщо вжиті ним заходи не дали належного ефекту.

Як наближену оцінку міри ефективності захисту можна розглядати також величину  $u_n$ . За умови, що захисні заходи вживаються вчасно, можуть бути такі співвідношення реальних і можливих збитків.

1. Реальні збитки дорівнюють можливим:  $u_p = u_e$ , тобто  $u_n = 0$ , а  $M=0$ .

Такі збитки називаються невідворотними. Крім сільського господарства вони можуть бути й в інших галузях.

2. Реальні збитки менше можливих:  $u_p \neq u_e$ , тобто  $u_n \neq 0$ . Тоді  $1 > M > 0$ .

У цьому випадку збитки мають назву частково відвернених. Вони включають як реальні, так і відвернені збитки. Розміри відвернених збитків (заощаджених матеріальних засобів) різні в залежності від ефективності запобіжних заходів.

3. Реальні збитки дорівнюють нулю:  $u_p = 0$ ,  $u_e = u_n$ . Звідси  $M=1$ .

У цьому випадку реальні збитки відсутні, тобто цілком відвернені. Наприклад, судна одержують попередження й ідуть в укриття, літаки проходять стороною грозову зону.

Часткове чи повне запобігання збитків пов'язане з визначеними попередніми витратами на запобіжні заходи ( $Z_{nm}$ ).

Попередні витрати здійснюються як ДГМСУ (передвиробничі витрати  $Z_{nm}$ ), так і споживачами МІ (додаткові витрати  $Z_{don}$ ).

Передвиробничі витрати ДГМСУ можуть бути двох категорій:

- витрати на одержання метеорологічних нормативів і інших режимних матеріалів;
- витрати на одержання прогнозів погоди.



Додаткові витрати споживача аналогічно поділяються на дві категорії:

- витрати, пов'язані з використанням уточнених підвищених метеорологічних нормативів;

- витрати на запобіжні заходи, якщо прогноуються НЯ чи ОНЯ погоди.

Додаткові витрати, як і відвернені збитки, при використанні кліматологічних даних носять разовий характер. Збитки внаслідок попередніх додаткових витрат запобігають один раз, а сам об'єкт експлуатується багато років.

Використовуючи прогнози і штормові попередження, споживач неодноразово запобігає матеріальним утратам. Інакше кажучи, попередні витрати і збитки, які запобігають, носять постійний, систематичний характер. Попередні витрати припускають оптимальний вибір витрат у ряді виробничих завдань на основі прийняття оптимальних рішень.

У свою чергу витрати споживача, пов'язані з використанням прогностичної інформації, містять у собі:

- витрати на зарплату робочих і витрати на техніку, яка використовується для проведення попереджувальних заходів;

- витрати на змушене переміщення матеріальних і технічних засобів;

- витрати в зв'язку з простоями транспорту і припиненням окремих виглядів виробничих робіт.

Відвернені збитки оцінюють як вартість можливих ушкоджень заощадженого об'єкта (судна, літака) чи як вартість збереження виробничих робіт (збереження графіків руху потягів, польоту літаків). У деяких галузях попередні витрати, чи вартість запобіжних заходів, носять інший характер. У сільському господарстві, наприклад, для боротьби з заморозками використовують задимлення, укриття рослин, обігрів плантацій. Як попереджувальні міри захисту від пилових бур і суховіїв використовують лісосмуги і лісопосадки.

Боротьба з градом у південних районах здійснюється методом активного впливу на градові хмари. Такого роду запобіжні заходи коштують дорого, але себе окупають.

У ряді випадків при використанні прогнозів погоди запобіжні заходи зводяться до раціональних заздалегідь відпрацьованих організаційних і виробничих рішень. Так, короткострокові прогнози температури для енергосистем дозволяють уточнювати режим електроспоживання, а довгостроковий прогноз для теплоелектростанцій - уточнювати плани їх паливопостачання.

Запобіжні заходи ефективні в тому випадку, коли вони виконуються за відпрацьованою системою, завчасно і відповідно до прогнозів.

Економія матеріальних засобів, доход  $G$  — частина натуральних чи грошових ресурсів, що вдається зберегти, тобто вигода на основі

врахування метеорологічних умов. При оцінці економічного ефекту використання прогнозів погоди значення  $G$  розраховується відносно базового варіанта.

Використання прогнозів погоди в різних галузях господарства дозволяє одержати різну величину вигоди й у різних одиницях виміру в залежності від галузевої специфіки виробництва.

### 3.5.1 Економічний ефект за повною довірою до прогнозів погоди

У багатьох галузях господарства прогностична інформація використовується недостатньо повно і результативно. Очевидно, до того, як будуть повсюдно впроваджені моделі оптимального використання прогнозів, необхідно разом зі споживачем розробити ряд простих алгоритмів, що визначають його виробничі рішення. Їхня форма і зміст будуть визначатися специфікою роботи споживача. Наприклад, у будівельній організації деякі рішення керівника чи диспетчера будуть залежати від прогнозу температури і вітру, а більш повні — і від прогнозу опадів. Подібні алгоритми можуть бути розроблені для різних виглядів автомобільного транспорту, енергосистем, і ряду інших галузей, де застосовувати більш досконалі економіко-метеорологічні моделі важко.

Крім оптимального використання прогнозів здійснюється пряме використання прогнозів, яке полягає в тому, що споживач щоразу приймає рішення з цілковитою довірою до прогнозу. Якщо прогноз виправдовується, споживач застосовує запобіжні заходи та зберігає матеріальні цінності чи раціонально використовує сприятливу погоду. Якщо не виправдовується, то споживач несе збитки.

Нехай за обраний відрізок часу відвернені збитки споживача складають  $u_n$ . Вони включають вартість заощаджених матеріальних засобів на основі попереджень, що справилися, про НЯ й ОНЯ і вартість зниження експлуатаційних витрат за іншими прогнозами, що справилися.

У свою чергу відвернені збитки за винятком попередніх витрат споживача (додаткових витрат)  $Z_{дон}$  є економією матеріальних засобів (просто економія, доход) за рахунок методичних прогнозів:

$$S_m = u_n - Z_{дон}. \quad (3.20)$$

Для інерційних прогнозів (базовий варіант) економія дорівнює

$$S_u = u'_n - Z'_{дон}. \quad (3.21)$$

Помилки прогнозів першого роду (явища не прогнозувалися, але спостерігалися) хоча і рідкі, але супроводжуються значними потенційно відверненими збитками  $u_{pnn}$ .

Помилки прогнозів другого роду (явище прогнозувалося, але не спостерігалось) будуть супроводжуватися зайвими попередніми витратами споживача. Величини  $Z_{дон}$  входять у формули як ті, котрі сприяли запобіганню втрат, так і ні. З урахуванням  $u_{pnn}$  формули запишемо у вигляді:

$$S_m = u_n - u_{pnn} - Z_{дон}; \quad (3.22)$$

$$S_u = u'_n - u'_{pnn} - Z_{дон}. \quad (3.23)$$

Внаслідок більшого виправдання методичних прогнозів у порівнянні з інерційними перевищення економії має вигляд

$$G = S_m - S_u. \quad (3.24)$$

Якщо  $Z_{ци}$  — вартість витрат на одержання даного виду прогностичної інформації, то вартість організації і проведення спеціального гідрометеорологічного забезпечення деяких заходів є

$$E = G - Z_{mn}. \quad (3.25)$$

Величина  $E$  є економічним ефектом від використання методичних прогнозів.

Таким чином, економічним ефектом від використання прогнозів погоди називається економія (заощадження) матеріальних цінностей, трудових ресурсів і фінансових засобів за рахунок більш повного урахування МІ за винятком витрат на її одержання.

Економічним ефектом від використання прогнозів погоди може бути скорочення експлуатаційних витрат за рахунок удосконалювання технології виробництва і, отже, економії трудових ресурсів, часу, палива, електроенергії й інших видаткових матеріалів; одержання додаткової продукції; запобігання збитків від несприятливих метеорологічних умов за рахунок попереджень про НЯ й ОНЯ погоди.

Економічний ефект утворюється в сфері споживання МІ, тобто в галузях, де вона використовується з метою запобігання збитків за рахунок попереджень НЯ й ОНЯ погоди. Розглядаючи  $E$  стосовно одиниці вартості прогностичної інформації, маємо

$$P = \frac{G}{Z_{mn}} - 1. \quad (3.26)$$

Ця формула показує економічну ефективність використання прогнозів погоди і є відношенням отриманого економічного ефекту до вартості витрат на його досягнення. Її можна застосовувати для оцінки економічної

ефективності прогнозів і явищ у цілому по ДГМСУ.

У ряді випадків, особливо для довгострокових прогнозів, доцільно замість  $S_u$  розраховувати економію матеріальних засобів за рахунок випадкових  $S_c$  чи кліматологічних  $S_{кл}$  прогнозів.

Якщо прийняти в оперативному гідрометеорологічному підрозділі як одиницю вартості 1000 грн., то формулу (3.26) можна записати у вигляді

$$P = \left( \frac{G}{3_{nm}} - 1 \right) \cdot 1000. \quad (3.27)$$

Ця формула показує, скільки коштів повертається на кожні 1000 грн. витрачених на утримання прогностичних підрозділів.

Економічну ефективність прогнозів можна визначити за відношенням економії до витрат:

$$P^* = \frac{G}{3_{nm}}. \quad (3.28)$$

Формула для  $P^*$  аналогічна формулі для  $P$  при  $\Delta K=0$ . Для різних галузей це відношення змінюється в значних межах.

Виробнича корисність прогнозів погоди, що надходять до споживача з БП, ГМБ, ГМО, ЗАМЦ, АМСГ, оцінюється в основному через економічний ефект. У цілому для всієї служби прогнозів оцінюється економічна ефективність прогнозів погоди, оскільки вихідна МІ використовується всіма прогностичними підрозділами.

У деяких галузях перевага віддається не стільки оцінці економічного ефекту використання МІ, скільки здатності цієї інформації забезпечити безпеку проведення виробничих операцій. Це в першу чергу відноситься до різних виглядів транспорту масового перевезення людей.

У літературі наводяться значення  $P^*$ , що коливаються від 20:1 до 100:1. Вони розраховані за такої базової умови, що характеризує відсутність МЗ. Навряд чи такий базовий варіант є виправданим.

### **3.5.2 Економічний ефект від попереджень про небезпечні явища й особливо небезпечні явища погоди**

У залежності від специфіки споживача і виду МІ формула економічного ефекту має різний вигляд. Економічний ефект від попереджень про очікувані небезпечні умови погоди, що дозволяють зберегти матеріальні цінності, визначається за формулою

$$E_{оо\text{я}} = \beta N_n [C - 3_{л} - (3_{nm} + 3_{nn})], \quad (3.29)$$

де  $C$  - собівартість збережених матеріальних цінностей;  $Z_n$  — ліквідаційна вартість матеріальних цінностей, що після нанесеного збитку використовуються для інших виробничих цілей;  $Z_{nm}$  і  $Z_{nn}$  — відповідно витрати на запобіжні заходи і передвиробничі витрати прогностичного підрозділу ДГМСУ;  $N_n$  – кількість випадків використання прогностичної інформації.

Якщо матеріальні цінності відновлюються, то економічний ефект від попереджень про НЯ й ОНЯ погоди визначається в такий спосіб:

$$E_{оо\text{я}} = \beta N_n [Z_{\text{в}} - (Z_{nm} + Z_{nn})] , \quad (3.30)$$

де  $Z_{\text{в}}$  — витрати на відновлення матеріальних цінностей, якби збиток не був відвернений.

У випадках, коли НЯ й ОНЯ можуть призвести об'єкти до руйнувань, що потребують капітального відновлення, ця формула набуває вигляду:

$$E_{оо\text{я}} = \beta N_n [(E_n K_{\text{в}} + CA) - E_n (Z_{nm} + Z_{nn})] , \quad (3.31)$$

де  $N_n$  - число випадків запобігання збитку (число об'єктів);  $K_{\text{в}}$  - капітальні витрати на відновлення об'єкта;  $C$  - собівартість одиниці продукції;  $A$  - обсяг продукції, загубленої за період порушення експлуатації об'єкта;  $CA$  — вартість загубленої продукції за період відновлення об'єкта.

Сума  $(E_n K_{\text{в}} + CA)$  є вартістю заощаджених матеріальних цінностей унаслідок завчасного попередження споживача про настання одного НЯ і прийнятих їм запобіжних заходів  $Z_{nm}$ .

Різноманіття галузей виробництва і різний вплив погодних умов на них потребують розробки частинних методик оцінки економічного ефекту прогнозів погоди.

## 4 ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГОСПОДАРЧИХ РІШЕНЬ НА ПІДСТАВІ ПРОГНОЗІВ ПОГОДИ

### 4.1 Оптимальна стратегія споживача при використанні гідрометеорологічної інформації для вирішення господарських завдань

Весь спектр прогнозованих ( $\Pi_j$ ) і фактичних ( $\Phi_i$ ) значень метеорологічних елементів і явищ погоди можна подати у вигляді послідовного безупинного ряду значень чи ряду градацій або фаз погоди. Матриця спряженості  $\Pi_j \sim \Phi_i$  (табл. 4.1) дозволяє розрахувати імовірності  $p_{ij}$  здійснення кожної фази погоди. Таким чином усі категоричні прогнози перетворюються на імовірнісну форму, що необхідно споживачу для наступного вибору господарської оптимальної стратегії.

Таблиця 4.1 - Матриця спряженості  $\Pi_j \sim \Phi_i$

$\Phi_i$	$\Pi_j$				$\sum_{j=1}^m p_{ij}(\Phi_i)$
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	...	$\Pi_m$	
$\Phi_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1m}$	$p_{10}$
$\Phi_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2m}$	$p_{20}$
...	...	...	...	...	...
$\Phi_n$	$p_{n1}$	$p_{n2}$	...	$p_{nm}$	$p_{n0}$
$\sum_{i=1}^n p_{ij}(\Pi_j)$	$p_{01}$	$p_{02}$	...	$p_{0m}$	1

Для порівняльної оцінки можна одержати аналогічну матрицю спряженості при випадкових, інерційних і кліматичних прогнозах.

Кожній очікуваній фазі погоди  $\Pi_j$  відповідає визначене рішення споживача  $L_j$  щодо управління господарськими заходами.

Нехай споживач приймає  $m$  можливих рішень. Господарські заходи при цьому виконуються при  $n$  можливих фактичних станах погоди  $\Phi_i$ . Істотно, що це рішення може реалізувати при всіх можливих фазах погоди.

Цільова задача споживача полягає в тому, щоб виконати господарські заходи таким чином, щоб вони найбільшою мірою відповідали погодним умовам, і тим самим одержати найбільший економічний вигравш чи найменші збитки. Далекі не всі рішення споживача будуть вдалимими і дадуть бажаний результат. Для виявлення «чутливості» виконуваних робіт до впливу погоди необхідно встановити розподіл одержуваної міри корисності, що відповідає визначеним сполученням рішень  $L_j$ , і фактично спостереженим умовам погоди  $\Phi_i$ .

Розподіл

$$\Theta = \Theta(\Phi_i, \Pi_j) \quad (4.1)$$

є функцією корисності прийнятих рішень споживача. Функцією корисності  $\Theta_{ij}$  називають залежність міри корисності прийнятих рішень даним споживачем від відповідності очікуваної погоди фактичній. Характер і вигляд функції корисності цілком визначаються специфікою споживача.

Функція корисності може бути подана в матричній і аналітичній формах. Матриця  $\Theta_{ij}$  подана у вигляді таблиці, є квадратною матрицею, в якій  $m$  господарських рішень збігається з числом  $n$  встановлених фаз погоди. Можливі прямокутні матриці  $\Theta_{ij}$ . Наприклад, споживач може прийняти одне з двох рішень: «посадка літака дозволяється» чи «посадка літака не дозволяється» на підставі однієї з трьох очікуваних фаз погоди - дощ слабкий, помірний чи сильний.

Таблиця 4.2 - Матриця міри корисності  $\Theta_{ij}$

$\Phi_i$	Решення споживача ( $L_j$ ) орієнтоване на очікувану фазу погоди ( $\Pi_j$ )					
	$L_1 \sim \Pi_1$	$L_2 \sim \Pi_2$	...	$L_j \sim \Pi_j$	...	$L_m \sim \Pi_m$
$\Phi_1$	$\Theta_{11}$	$\Theta_{12}$	...	$\Theta_{1j}$	...	$\Theta_{1m}$
$\Phi_2$	$\Theta_{21}$	$\Theta_{22}$	...	$\Theta_{2j}$	...	$\Theta_{2m}$
...	...	...	...	...	...	...
$\Phi_n$	$\Theta_{n1}$	$\Theta_{n2}$	...	$\Theta_{nj}$	...	$\Theta_{nm}$

Значення  $\Theta$  можуть мати сенс втрат чи вигравів, обумовлених погодою. Для стислості назвемо їх відповідно метеорологічні втрати (збитки) і метеорологічні виграші (прибуток). Тоді метеорологічні втрати будуть визначатися величиною

$$s_{ij} = \max_j \Theta_{ij} - \Theta_{ij}, \quad (4.2)$$

де  $\max_j \Theta_{ij}$  — максимальне значення  $\Theta_{ij}$ , для заданої фази погоди  $\Phi_i$ .

Метеорологічні виграші у свою чергу визначаються як різниця між значеннями  $\Theta_{ij}$  і мінімально можливим  $\min_j \Theta_{ij}$  для заданої фази погоди  $\Phi_i$ :

$$g_{ij} = \Theta_{ij} - \min_j \Theta_{ij}. \quad (4.3)$$

Таким чином, метеорологічні втрати і виграші дають нові матриці втрат і вигравів, отримані, як видно, шляхом простої зміни початку відліку заданої функції. У цьому випадку функція вигляду

$$s_{ij}=s(L_j, \Phi_i) \quad (4.4)$$

є функцією втрат, а функція

$$g_{ij}=g\{L_j, \Phi_i\} \quad (4.5)$$

є функцією виграшів.

Для деяких споживачів складається **матриця витрат** (платіжна матриця)

$$r_{ij}=s_{ij}-g_{ij}. \quad (4.6)$$

При  $r_{ij}>0$  мають місце збитки, при  $r_{ij}<0$ -прибуток. Таку матрицю можна назвати змішаною.

Елементи матриці втрат, матриці виграшів і матриці витрат виражають у грошових чи в умовних одиницях. Той самий споживач може мати кілька матриць втрат, а саме стільки, скільки метеорологічних елементів і явищ погоди він враховує роздільно у своїй діяльності. Різні споживачі за тим самим метеорологічним елементом чи явищем погоди будуть мати різні матриці, що пов'язано з специфікою їхньої діяльності.

Функції корисності (втрат чи виграшів), виражені в аналітичній формі, відбивають безупинний вплив метеорологічних елементів чи явищ погоди на виробничий процес і здатність споживача плавно керувати цим процесом відповідно до очікуваної погоди. Вони повніше відбивають функціональну модель "МІ — споживач". Для спрощення практичного застосування безупинні функції корисності подають у формі дискретних.

Найбільш широке використання в практиці знаходить функція втрат тому, що на більшість господарських організацій переважно впливають метеорологічні перешкоди, а так названі гарні умови погоди в основному відповідають рівню нульових втрат.

Якщо відоме прогностичне  $\Pi_j$  значення метеорологічного елемента  $X$ , на яке орієнтується споживач, і фактичне  $\Phi_i$  значення цього елемента, то можна в першому наближенні функцію втрат визначити як різницю:

$$s(L, \Phi) = s [\Phi(X)-\Pi(X)]. \quad (4.7)$$

Функція втрат описує економічне значення МІ для даного споживача. Вона може мінятися згодом, що зв'язано зі ступенем модернізації виробництва й удосконалювання захисних мір від несприятливих умов погоди. Нарешті, функція втрат змінюється за сезонами.

Для подання функції втрат  $s(L, \Phi)$  у матричній формі потрібно досить великий ряд значень  $s_{ij}$ , що забезпечує статистичну надійність результатів.

Для багатьох господарських організацій функції втрат вивчені ще



недостатньо, а для ряду зовсім невідомі.

Споживач орієнтується відразу на кілька метеорологічних елементів і явищ погоди. Його можуть одночасно цікавити і температура, і видимість, і вітер. Тому необхідно розробляти комплексні характеристики погоди спеціалізованого призначення. Це у свою чергу дозволить звести багатомірні задачі оптимізації до одномірних.

Функції втрат у вигляді формули (4.7) називаються різницевиими. Це вказує на те, що втрати при  $(\Phi - \Pi) = const$  мають ту саму величину при всіх значеннях  $\Phi$ , тобто залежать тільки від величини і знака помилки.

Розглянемо деякі функції втрат.

#### 1. Лінійна функція втрат

$$s(L, \Phi) = \begin{cases} A_1(\Phi - \Pi) \text{ при } \Phi > \Pi; \\ A_2(\Phi - \Pi) \text{ при } \Phi \leq \Pi. \end{cases} \quad (4.8)$$

Величина втрат змінюється лінійно в залежності від помилки  $(\Phi - \Pi)$ . Однак збільшення втрат буде розрізнятися при  $\Phi > \Pi$  і  $\Phi < \Pi$ . Наприклад, істотно різні наслідки має знак помилки прогнозу температури для тепломереж міста. Так, якщо температура прогнозується нижче, а фактично спостерігалася вище  $(\Phi > \Pi)$ , то це приведе до більшої, ніж необхідно, витрати палива. Збитки, пов'язані з перевитратою палива, несе тільки тепломережа. У випадку, якщо температура прогнозувалася вище фактично спостереженої  $(\Phi < \Pi)$ , то палива витрачається менше необхідного. Виникає більш небезпечна за наслідками ситуація — «недоопалення». На підприємствах міста, у комунальних господарствах, в установах складаються вкрай несприятливі умови роботи аж до аварійних. Втрати в другому випадку в багато разів більше, ніж у першому.

Квадратична функція втрат

$$s(L, \Phi) = \begin{cases} B_1(\Phi - \Pi)^2 \text{ при } \Phi > \Pi; \\ B_2(\Phi - \Pi)^2 \text{ при } \Phi \leq \Pi. \end{cases} \quad (4.9)$$

Функції лінійних і квадратичних втрат при  $\Phi = \Pi$  мають нульовий граничний рівень.

Нульовий граничний рівень — значення метеорологічного елемента чи інтенсивності явища, що відповідає обраному початку відліку втрат.

#### 2. Лінійна функція втрат з ненульовим граничним рівнем

$$s(L, \Phi) = \begin{cases} A_1(\Phi - \Pi - \varepsilon) \text{ при } \Phi \geq (\Pi + \varepsilon); \\ 0 \text{ при } |\Phi - \Pi| < \varepsilon; \\ A_2(\Phi - \Pi - \varepsilon) \text{ при } \Phi \leq (\Pi - \varepsilon). \end{cases} \quad (4.10)$$

### 3. Квадратична функція втрат з ненульовим граничним рівнем $\varepsilon$

$$s(L, \Phi) = \begin{cases} B_1(\Phi - \Pi - \varepsilon)^2 & \text{при } \Phi \geq (\Pi + \varepsilon); \\ 0 & \text{при } |\Phi - \Pi| < \varepsilon; \\ B_2(\Phi - \Pi - \varepsilon)^2 & \text{при } \Phi \leq (\Pi - \varepsilon). \end{cases} \quad (4.11)$$

### 4. Лінійно - квадратична функція втрат

$$s(L, \Phi) = \begin{cases} A(\Pi - \Phi) & \text{при } \Phi \leq \Pi; \\ B(\Phi - \Pi)^2 & \text{при } \Phi > \Pi. \end{cases} \quad (4.12)$$

Коефіцієнти  $A$  і  $B$  - практична «ціна» негативних і позитивних відхилень фактичної погоди  $\Phi_i$  від погоди за прогнозом  $\Pi_j$ , на яку орієнтується споживач.

Ненульовий граничний рівень чи просто граничний рівень - заздалегідь встановлене значення метеорологічної величини (комплексу) чи інтенсивності явища, прийняте споживачем за небезпечну межу. Наприклад, заморозок - критичне значення температури повітря чи поверхні ґрунту, нижче якого спостерігається ураження визначеного виду сільськогосподарської культури; штормовий вітер - критичне значення швидкості вітру для конкретного споживача, вище якого відзначається значне зростання збитку.

#### 4.2 Умови оптимального поведження споживача

Споживач, одержавши необхідну метеорологічну і не метеорологічну інформацію, приймає рішення ( $L_j$ ) щодо подальших дій по виконанню господарських заходів. Рішення можуть стосуватися припинення чи початку визначених робіт або виробничих операцій, внесення коректив у їхній хід. Кожне з цих рішень споживач виносить насамперед завчасно на підставі очікуваної погоди ( $\Pi_j$ ). Завчасність рішень залежить від тривалості і характеру виконуваних виробничих операцій. Великі господарські разові заходи часто вимагають великої завчасності рішення, наприклад місяць і більше. Рішення щодо інших заходів виносяться щодня.

З урахуванням всієї інформації споживач прагне виробити таке рішення, що сприяє економічно оптимальному режиму даної виробничої операції для будь-якого іншого господарського заходу. Таке рішення споживача називається оптимальним. До нього він прагне завжди, для того щоб у визначених ситуаціях діяти єдино правильним образом. У дійсності не кожне його рішення може виявитися найкращим. Однак споживач щораз на підставі метеорологічної і не метеорологічної інформації прагне виробити цілком визначену лінію свого поведження, деяку виробничу

стратегію ( $S$ ). Рішення споживача це його одноразове поводження, а стратегія - принцип його поводження, вироблений алгоритм дій, спрямований на оптимізацію виробничих завдань.

Якщо очікуваній фазі погоди відповідає тільки одне рішення, то стратегія носить детермінований характер і називається чистою стратегією. Наприклад, вироблення тепла ТЕЦ плануються в повній відповідності з очікуваними змінами температури.

У більшості виробничих задач вибір рішення найчастіше зводиться до стохастичної процедури. Рішення, що відповідає очікуваній фазі погоди, вибирається із сукупності набору можливих рішень. Така стратегія називається змішаною. Безліч можливих рішень є властивістю економічної моделі “МІ – споживач”. При великому числі фаз погоди споживач має великий ступінь волі у виборі рішення.

Будь-яка стратегія споживача повинна забезпечувати оптимальні економічні витрати чи вигоди. Оптимальною стратегією ( $S_o$ ) для даного споживача називається така, що дає йому постійний економічний ефект у порівнянні з іншими стратегіями ( $S_i$ ).

У підсумку господарський зміст оптимізації використання прогнозів погоди зводиться до залучення таких прогнозів і до вироблення з їх урахуванням такого режиму виробництва чи господарського заходу, що у середньому дає мінімум збитків чи максимум прибутку для конкретного споживача.

Стратегія, заснована на інтуїції, якісних висновках, рішеннях «на око», може виявитися невдалою чи навіть збитковою. Приймаючи рішення, споживач може використовувати як оперативні методичні прогнози погоди, так і кліматологічну інформацію.

**Критерії оптимальності.** Для того щоб встановити, наскільки рішення споживача оптимально, необхідно залучити деякі критерії оптимальності рішень. Їх вибір залежить від специфіки споживача. В якості критеріїв оптимальності використовують такі показники, як середні втрати  $R(S)$ , середній виграш  $G(S)$ , дисперсію втрат  $D(S)$ , імовірність великих втрат, середній квадрат втрат. При визначеній оптимальній стратегії іноді використовують принцип мінімаксу і максиміну, а також векторну оптимізацію стратегій.

Розглянемо деякі з них.

Подамо значення  $s_{ij}$ ,  $g_{ij}$  і  $p_{ij}$  у дискретній формі. Найбільш часто використовують показники середніх втрат і середнього виграшу. При відомих матрицях метеорологічних втрат  $s_{ij}=s(L, \Phi)$  і ймовірностей  $p_{ij}=p(\Pi, \Phi)$ , можна знайти математичне очікування втрат (середні втрати) для кожної стратегії:

$$\bar{R}(S) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} p_{ij}. \quad (4.13)$$

Оптимальна стратегія  $S_0$  забезпечує мінімізацію середніх втрат:

$$\bar{R}(S_0) = \min_{\langle s \rangle} R(S), \quad (4.14)$$

де  $\langle s \rangle$  - безліч стратегій.

Якщо відомі  $g_{ij}=g(L, \Phi)$  і  $p_{ij}=p(\Pi, \Phi)$  можна знайти середній виграш для кожної стратегії:

$$G(S) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij} p_{ij}. \quad (4.15)$$

Оптимальна стратегія  $S_0$  у цьому випадку повинна забезпечувати максимізацію середнього виграшу:

$$G(S_0) = \max_{\langle s \rangle} G(S). \quad (4.16)$$

Критерії  $\bar{R}(S)$  і  $G(S)$  пов'язані між собою співвідношенням

$$G(S) = \Theta - \bar{R}(S), \quad (4.17)$$

де  $\theta$ —постійна величина. Отже, оптимальна стратегія, що мінімізує середні втрати, у той же час буде максимізувати середній виграш.

Для деяких споживачів становить інтерес не стільки середня величина втрат, скільки розкид цих втрат щодо середньої. Організація виробництва ставиться в залежність від стабільності результатів господарської діяльності. Статистичною характеристикою розкиду втрат є їхня дисперсія

$$D(S) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [s_{ij} - \bar{R}(S)]^2 p_{ij}. \quad (4.18)$$

Оптимальна стратегія  $S_0$  повинна забезпечувати умову

$$D(S_0) = \min_{\langle s \rangle} D(S). \quad (4.19)$$

Як критерій оптимальності може бути використана імовірність втрат, що перевищують деякий заздалегідь заданий рівень  $R'$ . Оптимальна стратегія в цьому випадку буде така, при якій виконується умова

$$p(S_0)(\bar{R} > R') = \min_{\langle s \rangle} p(S)(\bar{R} > R'). \quad (4.20)$$

Пошук оптимальної стратегії споживача зі складними внутрішніми і зовнішніми зв'язками за одним критерієм не завжди дає задовільні результати. Тому в складній галузі необхідно проводити пошук

оптимальної стратегії за декількома критеріями.

### **Стратегія повної довіри прогнозам погоди**

Розглянемо стратегію споживача, для якого помилки прогнозів погоди першого і другого роду дають рівноцінний збиток, тобто  $S_{12} \sim S_{21}$ .

Знайдемо деяке критичне значення справджуваності методичних прогнозів, що дозволяє дати відповідь на питання: що економічно вигідніше використовувати при наявній справджуваності прогнозів погоди — прогнози погоди чи кліматичну норму.

Якщо  $p_{кл} > Z_{nm}/S_{10}$ , то загальні витрати відповідно до умови критерію «відносини витрат до збитків» дорівнюють  $Z_{nm}/N$ , якщо  $p_{кл} < Z_{nm}/S_{10}$ , загальні витрати з урахуванням тієї ж умови складуть  $s_{10}n_{10}$ .

Визначимо загальні витрати за кліматологічним і методичним прогнозами.

Для першого випадку (коли  $p_{кл} > Z_{nm}/S_{10}$ ) маємо

$$Z_{nm} = Z_{nm}n_{01} + s_{12}n_{12} \quad (4.21)$$

З урахуванням  $p = (n_{11} + n_{22})/N$  з останнього рівняння одержимо справджуваність  $p_0$ , що характеризує умови рівноцінності витрат споживача при використанні методичних і кліматологічних прогнозів:

$$p_0 = 1 - \frac{Z_{nm}}{s} (1 - p_{кл}). \quad (4.22)$$

Для другого випадку (коли  $p_{кл} < Z_{nm}/s$ ) маємо

$$s_{10}n_{10} = Z_{nm}n_{01} + s_{12}n_{12}, \quad (4.23)$$

звідси

$$p_0 = 1 - 2p_{кл} \left( 1 - \frac{Z_{nm}}{s} \right). \quad (4.24)$$

Отже, щоб витрати споживача при орієнтації на прогнози погоди були менше, ніж при використанні кліматичних ймовірностей  $p_{кл}$ , справджуваність прогнозів  $p$  повинна перевищувати  $p_0$ .

Аналіз формули (4.21) показує, що чим менше  $Z_{nm}/s$  і більше  $p_{кл}$ , тим потрібна більш висока справджуваність методичних прогнозів у порівнянні з кліматологічними, для того щоб споживач міг отримати з методичних прогнозів більшу користь, чим із кліматологічних прогнозів. У свою чергу остання формула показує, що одержати вигоду від методичних прогнозів можна за умови збільшення  $Z_{nm}/s$  і зменшення  $p_{кл}$ .

### **Стратегія оптимального використання прогнозів погоди**

Вибір стратегії оптимального використання прогнозів погоди роблять з урахуванням особливостей галузі. Орієнтація на прогнози

економічно вигідна, якщо критерії оптимальності підтверджують переваги прогнозів у порівнянні з кліматичною інформацією.

Значення фактичної погоди  $\Phi$  подають дискретним рядом як  $n$  фаз  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$ , яким відповідають  $m$  формулювань прогнозів  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ .

Категоричні прогнози, що складаються в даний час, не дають кількісної характеристики вірогідності твердження синоптика. Маючи категоричний прогноз, споживач не готовий до змін погоди, що не передбачені в прогнозі. Наприклад, споживач одержав два тексти прогнозу: категоричне твердження: «...очікується дощ» і імовірнісне — «...очікується дощ з імовірністю 30%». Природно, рішення споживача можуть бути неоднакові. Більш повне уявлення про очікувану погоду дає імовірнісний прогноз. Такий прогноз  $\Pi$  повинний містити вказівку, що деяке значення елемента чи явища погоди  $\Phi$  здійсниться з імовірністю  $p$ .

Матриця справджуваності категоричних прогнозів дозволяє перетворити ці прогнози в імовірні прогнози.

Припустимо, що споживач має у своєму розпорядженні матрицю справджуваності  $\{p_{ij}\}$  прогнозів, наведену вище і визначені спільні імовірності різних фаз погоди і формулювань багатofазних прогнозів. Вона еквівалентна матриці справджуваності ймовірнісних прогнозів, а, отже, категоричні прогнози, подані в підсумку в матричній формі, прийнятні для задачі оптимізації використання прогнозів.

Крім того, споживачу відома матриця втрат  $\{s_{ij}\}$ , також наведена вище, на підставі якої він може прийняти одне з  $m$  рішень  $L_1, L_2, \dots, L_m$ .

У матриці втрат елементи  $s_{ij} > 0$  відбивають ті чи інші метеорологічні втрати споживача в тих випадках, коли споживач орієнтувався на погоду  $\Pi_j$ , а фактично була погода  $\Phi_i$ . При  $s_{ij} = 0$  втрати відсутні.

На підставі матриці справджуваності (спряженості)  $\{p_{ij}\}$  складемо матрицю умовних ймовірностей:

$$q_{ij} = \frac{p(\Phi, \Pi)_{ij}}{p(\Pi)_j} = \frac{p_{ij}}{p_{0j}}, \quad (4.25)$$

де  $p_{ij} = p(\Phi, \Pi)_{ij}$  — сумісна імовірність фази погоди  $\Phi_i$  і прогнозу  $\Pi_j$ ;  $p_{0j} = p(\Pi)_j$  - імовірність формулювань прогнозу  $\Pi_j$ .

У випадку альтернативного прогнозу споживач може вибрати одне з двох рішень, у випадку трифазового — одне з трьох і так далі. Найпростіше рішення - повірити прогнозу. У цьому випадку здійснення фази погоди  $\Phi_i$  можна чекати з імовірністю  $q_{ij}$ . Тоді, замінивши  $R(S)$  на  $\bar{R}$ , математичне очікування втрат можна визначити за формулою

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij} q_{ij}. \quad (4.26)$$

Однак стратегія повної довіри категоричному прогнозу далеко не

завжди оптимальна. Тому для знаходження оптимальної стратегії споживач, одержавши формулювання прогнозу  $\Pi_j$ , може прийняти рішення  $L_{jk}$  з розрахунку здійснення іншої фази погоди.

Тоді в формулі (4.26) залишаються ті значення умовних ймовірностей  $q_{ij}$ , що відповідають формулюванню прогнозу, а втрати  $s_{ij}$  — ті, котрі відповідають рішенню  $L_{jk}$ . Математичне очікування втрат у цьому випадку визначається за формулою

$$\bar{R}(\Pi_j / L_k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{jk} q_{ij} \quad (4.27)$$

де індекс  $k$  при  $s$  вказує на той стовпець у матриці  $\{s_{ij}\}$ , що відповідає рішенню споживача.

Нехай споживач одержав формулювання прогнозу  $\Pi_1$  з можливих формулювань  $\Pi_m$ . Тоді для кожного з рішень споживача  $L_1, L_2, \dots, L_m$  математичні очікування середніх втрат  $\bar{R}_k$  визначають як:

$$\begin{aligned} \bar{R}(\Pi_1 / L_1) &= \sum_{i=1}^n s_{j1} q_{j1} = s_{11} q_{11} + s_{21} q_{21} + \dots + s_{n1} q_{n1}; \\ \bar{R}(\Pi_1 / L_2) &= \sum_{i=1}^n s_{j2} q_{j1} = s_{12} q_{11} + s_{22} q_{21} + \dots + s_{n2} q_{n1}; \end{aligned} \quad (4.28)$$

.....

$$\begin{aligned} \bar{R}(\Pi_2 / L_1) &= \sum_{i=1}^n s_{j1} q_{j2} = s_{11} q_{12} + s_{21} q_{22} + \dots + s_{n1} q_{n2}; \\ \bar{R}(\Pi_1 / L_m) &= \sum_{i=1}^n s_{jm} q_{j1} = s_{1m} q_{11} + s_{2m} q_{21} + \dots + s_{nm} q_{n1}; \end{aligned}$$

На підставі цих формул отримаємо  $\bar{R}(\Pi_1 / L_k)$ , що відповідає мінімуму втрат, а отже, і оптимальному рішенню  $L_o(\Pi_1)$ .

Якщо споживач одержав формулювання прогнозу  $\Pi_2$ , то виконують аналогічну процедуру і  $\bar{R}_k$  визначають за формулами:

$$\bar{R}(\Pi_2 / L_2) = \sum_{i=1}^n s_{j2} q_{j2} = s_{12} q_{12} + s_{22} q_{22} + \dots + s_{n2} q_{n2}; \quad (4.29)$$

.....

$$\bar{R}(\Pi_2 / L_m) = \sum_{i=1}^n s_{jm} q_{j2} = s_{1m} q_{12} + s_{2m} q_{22} + \dots + s_{nm} q_{n2};$$

Значення  $\bar{R}(\Pi_2 / L_m)$  дозволяють знайти оптимальне рішення  $L_o(\Pi_2)$ .

Нарешті, якщо споживач одержав формулювання прогнозу  $\Pi_m$ , то  $\bar{R}_k$  знаходять за формулами:

$$\begin{aligned} \bar{R}(\Pi_m / L_1) &= \sum_{j=1}^n s_{j1} q_{jm} = s_{11} q_{1m} + s_{21} q_{2m} + \dots + s_{n1} q_{nm}; \\ \bar{R}(\Pi_m / L_2) &= \sum_{j=1}^n s_{j2} q_{jm} = s_{12} q_{1m} + s_{22} q_{2m} + \dots + s_{n2} q_{nm}; \\ &\dots\dots\dots \\ \bar{R}(\Pi_m / L_m) &= \sum_{j=1}^n s_{jm} q_{jm} = s_{1m} q_{1m} + s_{2m} q_{2m} + \dots + s_{nm} q_{nm}; \end{aligned} \tag{4.30}$$

Останні формули дозволяють знайти оптимальне рішення  $L_0(\Pi_m)$ .

У підсумку для кожного з можливих формулювань прогнозів знаходимо оптимальне рішення:

Формулювання прогнозу Оптимальне рішення Мінімальні

$$\begin{aligned} \Pi_1 &\text{-----} L_0(\Pi_1) \text{-----} \bar{R}_0(\Pi_1) \\ \Pi_2 &\text{-----} L_0(\Pi_2) \text{-----} \bar{R}_0(\Pi_2) \\ &\dots\dots\dots \\ \Pi_m &\text{-----} L_0(\Pi_m) \text{-----} \bar{R}_0(\Pi_m) \end{aligned}$$

Отримані за дев'ятьма останніми формулами значення  $R_0(\Pi_i)$  можна подати у вигляді матриці ймовірних втрат  $R_{ij}$ , у кожному стовпці якої встановлюється мінімальне значення  $(\bar{R}_0)_{\text{хв}}$ .

Розглянута оптимальна стратегія, таким чином, має вигляд

$$S_0 = f[L_0(\Pi)]. \tag{4.31}$$

У своїй практичній діяльності споживач вимагає такий метод прогнозування, який би в цілому давав мінімальні втрати в порівнянні з будь-якими іншими методами.

Таблиця 4.3 - Матриця ймовірних утрат при трифазовому прогнозі

L <sub>k</sub>	Π <sub>i</sub>		
	Π <sub>1</sub>	Π <sub>2</sub>	Π <sub>3</sub>
L <sub>1</sub>	R <sub>11</sub> = $\bar{R}(\Pi_1/L_1)$	R <sub>12</sub> = $\bar{R}(\Pi_2/L_1)$	R <sub>13</sub> = $\bar{R}(\Pi_3/L_1)$
L <sub>2</sub>	R <sub>21</sub> = $\bar{R}(\Pi_1/L_2)$	R <sub>22</sub> = $\bar{R}(\Pi_2/L_2)$	R <sub>23</sub> = $\bar{R}(\Pi_3/L_2)$
L <sub>3</sub>	R <sub>31</sub> = $\bar{R}(\Pi_1/L_3)$	R <sub>32</sub> = $\bar{R}(\Pi_2/L_3)$	R <sub>33</sub> = $\bar{R}(\Pi_3/L_3)$
L <sub>0</sub> (Π <sub>i</sub> ) --- мін R <sub>jk</sub>	$\bar{R}_0(\Pi_1/L_k)_{\text{мін}}$	$\bar{R}_0(\Pi_2/L_k)_{\text{мін}}$	$\bar{R}_0(\Pi_3/L_k)_{\text{мін}}$

Для цього необхідно знати «споживчу» цінність даної прогностичної методики, яку можна отримати шляхом порівняння методів за їх загальними мінімальними втратами  $\bar{R}_0$ :



$$\bar{R}_0 = \sum_{j=1}^m p_{0j} \bar{R}_0(\Pi_j / L_k)_{\min} \quad (4.32)$$

$$\text{чи } \bar{R}_0 = \frac{1}{N} [n_{01} \bar{R}_0(\Pi_1 / L_k)_{\min} + n_{02} \bar{R}_0(\Pi_2 / L_k)_{\min} + \dots + n_{0n} \bar{R}_0(\Pi_m / L_k)_{\min}], \quad (4.33)$$

де  $n_{0j}$  — частоти формулювань прогнозів;  $\bar{R}(\Pi_j / L_k)_{\min}$  — мінімальні втрати при оптимальних рішеннях  $L_o(\Pi_j)$ ;  $N$ -загальне число прогнозів.

Той з методів прогнозування є економічно більш корисним для даного споживача, який забезпечує мінімальне значення  $R_0$ .

## **5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ АКТИВНИХ ВПЛИВІВ**

Впровадженню у виробництво того чи іншого методу впливу на атмосферні процеси для запобігання небезпечних градобоїв повинне передувати дослідження економічної доцільності застосування цього методу. Методи впливу, застосовувані в даній області, оцінюються за позитивним ефектом впливу з наукової й економічної сторони.

Оцінка фізичної (наукової) ефективності боротьби з градом абсолютна, оскільки вона характеризує здатність на сучасному рівні запобігти небезпечному явищу чи зменшити завданий ним збиток.

Економічна ефективність методу впливу визначається його рентабельністю, тобто перевищенням економічного ефекту, отриманого в результаті застосування даного методу, над витратами, пов'язаними з організацією і проведенням цих робіт. Економічна ефективність завжди відносна, оскільки визначається співвідношенням цінності відверненого збитку і вартості заходів щодо запобігання збитку.

### **5.1 Метод порівняння збитку на контрольній території і території, що захищається**

Одним з методів оцінки ефективності протиградових робіт є метод порівняння збитку від градобою на контрольній території (КТ) і території, що захищається (ЗТ). Контрольну територію вибирають виходячи з наступних розумінь.

1. Площа КТ повинна дорівнювати площі ЗТ.
2. КТ повинна бути розташована в однакових фізико-географічних умовах зі ЗТ і характеризуватися приблизно однаковою спеціалізацією щодо виробництва основних видів сільськогосподарської продукції.
3. КТ повинна розташовуватися по фронту до ЗТ щодо переважного переміщення градових процесів.
4. Наявність зведень про характер ушкоджень від граду, а також про режим літніх опадів повинне характеризуватися на ЗТ і КТ приблизно однаковим періодом років, що передує захисту.

Статистичні характеристики збитку від градобоїв (максимальні, середні, мінімальні ушкодження площі за рік), а також ступінь ушкодження сільськогосподарських культур визначаються за даними багаторічних спостережень (не менш 10...15 років). Якщо в документах інспекції Держстраху і управлінь сільського господарства вказується на значні площі ушкодження культур у результаті градобоїв і супутніх їм інших небезпечних метеорологічних явищ (наприклад зливи), то фактичний збиток від граду варто визначати в розмірі 1/2...2/3 загального збитку. Збитки від граду і злив можна підрозділити, шляхом дослідження

ушкоджень, що наносяться тільки зливами, в залежності від їхньої інтенсивності і кількості опадів, що випали, а також від стадії розвитку культивуємих у даному регіоні рослин у момент їхнього ушкодження. Аналогічно можна визначити ступінь збитку, що наноситься шквалистим вітром, що часто супроводжує випадання граду.

## 5.2 Поняття про собівартість і рентабельність протиградових заходів

Важливі економічні показники ефективності протиградових робіт-їхня собівартість і рентабельність, продуктивність праці і трудомісткість, а також ефективність капітальних вкладень у протиградові заходи.

Під собівартістю захисту сільськогосподарських культур від градобоїв варто розуміти річну суму виробничих витрат, віднесених до загальної площі, що захищається від граду.

Розрізняють планову і фактичну собівартість протиградових заходів. Планова вартість нормативна і служить для обґрунтування заходів щодо організації протиградових робіт, а також для фінансування діючих протиградових підрозділів.

Планова собівартість захисту від градобоїв 1 га площі є:

$$C_{\Pi} = \frac{Z_{ГВ}}{S_0}, \quad (5.1)$$

де  $Z_{ГВ}$  - річна сума запланованих грошових витрат на проведення протиградового захисту;

$S_0$  - загальна площа ЗТ, га.

Фактична собівартість захисту 1 га за звітний рік є:

$$C_{\Phi} = \frac{Z_{P\Phi}}{S_0}, \quad (5.2)$$

де  $Z_{P\Phi}$  - річна сума фактичних грошових витрат на проведення протиградових робіт.

При цьому

$$Z_{P\Phi} = D + M_{BC} + K \cdot E + T + \Gamma_E + P, \quad (5.3)$$

де  $D$  - річна сума заробітної плати працівників згідно зі штатним розписом;  $M_{BC}$  - вартість протиградових виробів, витрачених за сезон;  $K$  - капітальні вкладення в протиградові заходи (техніка, будівлі й ін.);  $E$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, встановлений на рівні 0,15;  $T$  - транспортні витрати;  $\Gamma_E$  - витрати на пально-мастильні

матеріали й електроенергію;  $P$  - інші загальногосподарські витрати.

Фактична собівартість на відміну від нормативної може значно варіюватися за роками і залежати від ступеня градової активності сезону (витрата виробів) і впровадження в систему протиградового захисту досягнень науково-технічного прогресу.

На рівень собівартості й економічної ефективності захисту істотно впливає розходження в структурі земельних угідь.

Доцільність проведення захисту в остаточному підсумку визначається рентабельністю робіт, що є відношенням чистого доходу до суми грошових витрат на проведення захисту.

Чистий дохід визначається як

$$D_{\text{ч}} = E_p - Z_{\text{рф}}, \quad (5.4)$$

де  $E_p$  - річний економічний ефект (вартість сільськогосподарської продукції, збереженої в результаті проведення протиградових робіт).

Виходячи з аналізу витрат на проведення протиградового захисту, варто розрізняти планову і фактичну рентабельність.

Планова рентабельність визначається як

$$E'_p = \frac{D_{\text{ч}}}{Z_{\text{пл}}} \cdot 100\%. \quad (5.5)$$

Відповідно фактична рентабельність - це відношення чистого доходу, отриманого від проведення протиградового захисту, до фактичних грошових витрат:

$$E''_p = \frac{D_{\text{ч}}}{Z_{\text{ф}}} \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

### 5.3 Показники ефективності протиградового захисту

Підсумки сезону протиградового захисту оцінюються за результатами обчислень показників агротехнічної й економічної ефективності протиградового захисту.

Під агротехнічною ефективністю впливу розуміють зменшення площ сільськогосподарських культур, ушкоджених і загинлих у результаті градобоїв на ЗТ. Цей параметр визначається на основі порівняння очікуваного збитку на ЗТ (за даними про збиток історичного ряду років) з фактичними ушкодженнями на цій же території в рік захисту.

Розрізняють відносну й абсолютну агротехнічну ефективність протиградових робіт. За умови розташування ЗТ і КТ в однакових фізико-географічних умовах і рівності їх загальних і корисних площ відносна агротехнічна ефективність  $N_{\text{ОК}}$  визначається як відношення площ, підданих

градобоям на КТ і ЗТ:

$$N_{OK} = \frac{\sum_{j=1}^n (S_{jPK} + K_{jчк} \cdot S_{jчк})}{\sum_{j=1}^n (S_{jПЗ} + K_{jчЗ} \cdot S_{jчЗ})}, \quad (5.7)$$

де  $S_{jPK}$ ,  $S_{jчк}$ ,  $S_{jПЗ}$ ,  $S_{jчЗ}$  – площі, зайняті  $j$ -тою культурою, що загинула чи частково ушкоджена в результаті градобоїв відповідно на КТ і ЗТ;

$K_{jчк}$ ,  $K_{jчЗ}$  – показники ступеня часткового ушкодження  $j$ -ї сільськогосподарської культури відповідно на КТ і ЗТ, що знаходяться з виразу:

$$K_{jчк} = \frac{y_j - y_{jчк}}{y_j}, \quad K_{jчЗ} = \frac{y_j - y_{jчЗ}}{y_j}, \quad (5.8)$$

де  $y_j$  – врожайність не ушкодженої  $j$ -ї культури;

$y_{jчк}$ ,  $y_{jчЗ}$  – врожайність  $j$ -ї культури частково ушкодженої на КТ і ЗТ.

Для розрахунку економічної ефективності протиградових робіт у першу чергу необхідно визначити їх абсолютну агротехнічну ефективність, тобто розмір площ, зайнятих сільськогосподарськими культурами і збережених від градобоїв за результатами проведення градозахисту.

Абсолютну агротехнічну ефективність розраховують як різницю очікуваних і фактичних площ, ушкоджених градобоями на ЗТ. Розрахунки варто диференціювати за кожною оброблювальною культурою і за частково ушкодженими чи цілком загиблими культурами.

За наявності КТ і відсутності багаторічних даних абсолютну ефективність розраховують щодо фактичного збитку на КТ:

$$N_{AK} = \sum_{j=1}^n (S_{jPK} + K_{jчк} \cdot S_{jчк}) \frac{S_{jBЗ}}{S_{jBK}} - \sum_{j=1}^n (S_{jПЗ} + K_{jчЗ} \cdot S_{jчЗ}). \quad (5.9)$$

де  $S_{jBЗ}$ ,  $S_{jBK}$  – площі оброблюваних культур відповідно на ЗТ і КТ.

За наявності багаторічних даних про збиток від градобоїв на ЗТ і КТ абсолютну ефективність можна розрахувати щодо середнього збитку, який наноситься градобоями щорічно на ЗТ за роки, що передують захисту, а також щодо збитку на КТ у рік захисту з урахуванням розходження ступеня градобезпеки ЗТ і КТ:

Показник абсолютної ефективності щодо середнього збитку, від щорічних градобоїв на ЗТ за роки, що передують захисту виглядає як:

$$N_{AM} = \sum_{j=1}^n (\bar{S}_{jПМ} + \bar{S}_{jчМ} \cdot \bar{K}_{jчМ}) - \sum_{j=1}^n (S_{jПЗ} + K_{jчЗ} \cdot S_{jчЗ}), \quad (5.10)$$

де  $K_{jчМ}$  - середній показник ушкодження  $j$ -ї культури за рік до захисту.

Абсолютна ефективність у рік захисту з урахуванням ступеня градонебезпечності ЗТ і КТ має вигляд:

$$N_A = \sum_{j=1}^n (S_{jПК} \frac{\bar{S}_{jПЗ}}{\bar{S}_{jПК}} + K_{jчК} \cdot S_{jчК} \frac{\bar{S}_{jчЗ}}{\bar{S}_{jчК}}) - \sum_{j=1}^n (S_{jПЗ} + K_{jчЗ} \cdot S_{jчЗ}). \quad (5.11)$$

Середня врожайність  $j$ -ї культури за роки, що передують захисту, на ушкоджених і частково ушкоджених площах ЗТ і КТ відповідно дорівнює:

$\bar{y}_{jЗ} = \bar{y}_{jК}$  та  $\bar{y}_{jчЗ} = \bar{y}_{jчК}$ , тобто

$$\bar{K}_{jчЗ} = \bar{K}_{jчК}. \quad (5.12)$$

## 6 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ

Оцінка економічної ефективності завжди є завданням яке розв'язується неоднозначно. Головні труднощі - в необхідності вичленення внеску одного із засобів спостережень та прогнозу в кінцевий прогноз, який складається при використанні багатьох виглядів спостережень, прогностичних схем і роботи засобів телекомунікація.

Вихідна інформація МРЛ повсюдно використовується для підготовки гідрометеорологічних прогнозів різної завчасності, в тому числі штормопопереджень щодо НЯ. Ці прогнози і штормопопередження необхідні для прийняття рішень щодо управління технологічними процесами та для організації захисту виробничих і житлових об'єктів від несприятливих гідрометеоумов, а також для прийняття оперативних рішень за гідрометеоумовами, які складаються.

### 6.1 Оцінка внеску інформації метеорологічних радіолокаторів в економічний ефект

Сума економічних втрат, які задаються від НЯ, що проходить повз пункт, залежить від завчасного його попередження. Випадки катастрофічних погодних явищ, які почастишали в останні роки, підвищують цінність радіолокаційної інформації, тому що рідка мережа гідрометеостанцій не завжди дозволяє спрогнозувати НЯ, особливо якщо воно формується на території, яка не обслуговується метеостанціями.

Особливо НЯ спостерігаються рідко, але саме вони спричиняють найбільші втрати споживачу. Оцінка економічного ефекту прогнозів НЯ заснована на урахування відвернених втрат за результатом заходів, розпочатих з використанням попереджень про НЯ. Економічний ефект одного прогнозу (попередження) передбаченого НЯ визначається за формулою

$$\Delta E_{ня} = Z_{нпр} - Z_{пр} - B_{зах} - B_{прог}, \quad (6.1)$$

де  $Z_{нпр}$  - збиток від НЯ при неприйнятті захисних мір;  $Z_{пр}$  - збиток, від НЯ які передбачені прогнозом (попередженням) при прийнятті захисних мір;  $B_{зах}$  - витрати на захисні заходи;  $B_{прог}$  - витрати на одержання прогностичної ГМІ (з урахуванням витрат на спостереження).

Для визначення величини економічного ефекту  $\Delta E_{ня}$  у гривнях за універсальною формулою (6.1) необхідно знати відповідь на питання, хто отримає економічний ефект: держава, якщо збиток спричинений державній

власності; страхові компанії, якщо об'єкти застраховані; місцеві адміністративні органи; організації, підприємства та інші споживачі, які скористалися прогнозом; уповноважені органи, які займаються спеціалізованим МЗ, за рахунок збільшення кількості споживачів.

У першому наближенні споживачів можна поділити за галузями господарства у порядку залежності їх функціонування від метеоумов.

Інформація автоматизованого МРЛ використовується при складанні короткострокових прогнозів і штормопопереджень за наступними НЯ та ОНЯ: грозо–градові, вітер, шквал, смерч, дощ, злива, сель, снігопад, повінь. Збиток, причинений кожним з цих явищ, фіксується і оцінюється страховими компаніями. Прийняті у світовій практиці оцінки, показують, що своєчасне штормове попередження зменшує збитки від 10 до 40%.

Слід пам'ятати, що короткостроковий прогноз НЯ та ОНЯ складається і при необхідності корегується із застосуванням інформації автоматизованих МРЛ. Внесок цієї інформації залежить від щільності наземної мережі спостереження і можливості залучення інших виглядів інформації. Він може бути визначальним, якщо метеостанцій мало і відсутній швидкий і надійний зв'язок, або навпаки. При виявленні смерчу, шквалу, сильних снігопадів, при атмосферній стратифікації, коли важко прогнозувати траєкторії гроzoneбезпечних *Cb*, внесок інформації МРЛ у штормове попередження також може бути помітним. За цими причинами внесок інформації МРЛ в короткостроковий прогноз НЯ можна оцінити від 5 до 40% при середньому значенні 10%.

Якщо своєчасне штормове попередження або короткостроковий прогноз з використанням інформації МРЛ дозволили запобігти 20% загального збитку, а внесок інформації МРЛ у цей прогноз склав 10%, то це дозволяє оцінити внесок інформації МРЛ у 2% від загального відверненого збитку. Два процента внеску інформації МРЛ від відверненого збитку можна прийняти за середнє значення, а максимальне може сягати 16%, а мінімальне – 0,5%.

В залежності від повторюваності від НЯ у різних регіонах ці цифри можуть змінюватися в широких межах. В деяких регіонах на перше місце виходять дощі, які спричиняють повені, в інших – град, який знищує врожай, в третіх – снігопад, який паралізує на тривалий час транспортні мережі. В кожному окремому випадку необхідний конкретний розрахунок збитків і внесок інформації МРЛ в їх запобігання.

Найбільш просто оцінювати економічний ефект при метеозабезпеченні авіації. В середньому автоматизований МРЛ, розміщений на аеродромі, забезпечує отримання інформації на площі 400×400 км, на ділянці авіатраси довжиною 400 км.

На основі відомостей про авіаційні події в країнах членів ІКАО, були розраховані показники характеристик рівня безпеки польотів в метеорологічному відношенні. За цими даними кількість авіаційних подій



на 100 млн. км польоту складає в середньому 0,05.

Якщо через повітряну зону за рік виконується 1000000 польотів літаків, то очікуване число авіаційних подій на рік складе  $400\text{км} \times 1000000 \times 0,05 / 100000000 = 0,02$

За статистикою середнє число авіаційних подій на 100 тис. посадок складає 0,1. Згідно даним, при зльоті і посадці відбувається 32% авіаційних подій, однак вартість втрат при посадці складає 52% загальної вартості втрат від всіх типів авіаційних подій. Зсув вітру і турбулентність є причиною 78% всіх авіаційних подій, пов'язаних з метеоумовами під час зльоту, заходу на посадку і посадки.

Питома вага впливу метеоумов на безпеку польотів складає 23%. Це означає, що кожна п'ята авіаційна подія, яка реєструється в країнах – членах ІКАО, обумовлена метеорологічними умовами.

Економічний ефект одного правильного прогнозу (попередження) небезпечного явища визначається за формулою

$$\Delta E_{ня} = Z_{нпр} - B_{прог} \quad (6.2)$$

де  $B_{прог}$  - витрати на одержання прогностичної метеоінформації на авіаметеостанції з урахуванням витрат на спостереження і постачання МРЛ;  $Z_{нпр}$  - витрати на ремонт літаків при неприйнятті захисних мір для виключення авіаційної події, наприклад, невиконання пілотом команди диспетчера в складних метеорологічних умовах.

За статистикою в 38% авіаційних подій відбувається ушкодження літаків. Вартість ремонту звичайно перевищує 10% вартості літака, але при цьому нижче 50% його вартості. При серйозному ушкодженні вартість ремонту складає від 50 до 90% вартості літака. Необхідно додати, що крім вартості ремонту літака, в вартість збитку входить оплата рятувальних робіт і страхівки в випадку гибелі і поранення пасажирів і екіпажу.

Після впровадження в США термінальних доплерівських погодніх радіолокаторів TDWR пілоти стали уважніше відноситись до попереджень про мікро вибухи, тому різко знизилась кількість випадків попадання літаків у сильні мікро вибухи і зсуви вітру. Працездатність TDWR склала приблизно 90% при ймовірності виявлення мікро вибухів 95%. Це свідчить про ефективність системи TDWR у забезпечення безпеки авіапасажирів.

З урахуванням наведених відомостей про втрати і, зіставляючи вартість літаків і МРЛ, можна зробити висновок про те, що запобігання лише однієї авіаційної події з використанням інформації МРЛ в аеропорту повністю окупить вартість його установки й експлуатації.

Так модернізація і реструктуризація Національної метеослужби США, шляхом використання метеорологічного радіолокатора NEXRAD, мережі WSR –88D, автоматичних метеостанцій ASOS, інтерактивної

системи AWIPS, супер комп'ютера в Центрі прогнозу, системи доведення інформації мережі NEXRAD до споживача, дала значний економічний ефект за рахунок зменшення збитку, пов'язаного з НЯ погоди на території США, в 3,5 рази і практично в плинні року окупило всю модернізацію і структурізацію Національної метеослужби.

За незалежними оцінками, один прогноз снігопаду в аеропортах США з використанням інформації WSR –88D дає економію понад 1 млн. доларів за зимовий період.

Система NEXRAD буде працювати 20 років, і як вважають американські спеціалісти, за рахунок високої кліматичної повторюваності небезпечних явищ в США вона окупиться як мінімум 20 разів.

Фінляндія відрізняється суворим кліматом з частими снігопадами: в середньому кількість днів з сніговим покривом коливається від 100 на архіпелазі до 220 в Лапландії. Тому зима є важким періодом для дорожнього руху: як правило, витрати протягом року на очистку і посипання доріг сіллю складає 100 млн. євро. Очистка доріг після одного шторму зі снігом на південному узбережжі Фінляндії коштує приблизно 150000 євро. Фінське дорожнє управління підтримало створення мережі доплерівських радіолокаторів при Фінському метеорологічному інституті. В оперативній роботі використовуються комбіновані карти псевдо CAPPI для висоти 500 м (дБз), детальні зображення CAPPI високої якості (дБз), які отримані на окремих радіолокаторах, і данні про накопичення опадів (мм) за 3,6 і 12 годин. Наявність радіолокаційних зображень відіграє велику роль, коли дорожнє управління зосереджує всю добову оперативну роботу в декількох центрах дорожнього руху. Результати одночасного і тривалого виміру важливі, коли дорожній центр повинен прийняти рішення щодо спрямування дорожніх бригад на очистку доріг або посипку їх сіллю під час шторму зі снігом. За словами керівника дорожнього центру на південному - сході Фінляндії Jukka Annala, "...радіолокатор – це інструмент номер один для одержання інформації про те, що іде снігопад. Вранці метеоролог повідомляє про загальну обстановку, ми керуємося радіолокаційними зображеннями, щоб знати про час подій...Мережа авіаметеослужби рідка, і ми не можемо сподіватися тільки на неї... Авіаметеослужба дає відомості про початок і кінець снігопаду, але дані про інтенсивність і накопичення опадів довіри не заслуговує...Радіолокатор не досконалий, але він набагато кращий дощомірів авіаметеослужби".

Дорожнє управління Фінляндії вважає, що метеослужба економить їм кожен зиму тільки по столичному регіону приблизно 200000 євро.

У Швеції збирання снігу коштує біля 800 млн. крон на рік. Метеослужба тісно співпрацює з дорожнім управлінням і готує 6-годинний прогноз типу і кількості опадів. Він поділяється на 2- годинні інтервали, і для цього потрібен радіолокатор. Вартість виклику персоналу і техніки для

очистки доріг складає 400000 крон. Помилковий виклик коштує дорого. Якщо радіолокатор спостерігає снігопад, то снігоприбиральну техніку можна виводити на дороги до того, як виникнуть труднощі для руху транспорту. Можливість спрямування снігоприбиральної техніки в потрібне місце і в потрібний час є критерієм підвищення ефективності МЗ. Кожна система, яка підвищує точність прогнозів снігопаду, окупається.

За оцінками, виграш від попереджень щодо повені у Великій Британії із застосуванням тільки радіолокаційних даних складає 1,8 млн. доларів, а виграш при сумісному використанні радіолокаційних та супутникових даних за участю синоптика складає 4,5 млн. доларів .

Наприклад, ОНЯ може завдати збиток у декілька мільйонів доларів. Завчасне попередження на основі інформації мережі МРЛ дозволить зекономити від 1% до 5%, але ця економія буде порівняна з вартістю частини мережі МРЛ.

Істотно, що виграш можна розраховувати тільки для кожної країни або регіону окремо, оскільки вартість нерухомості, розцінки на послуги і т.п. в різних країнах істотно відрізняються.

Однак навіть з наведеного можна вивести такі закономірності:

- цінність радіолокаційної МІ при НЯ різко зростає, коли мережа наземних метеоспостережень рідка;

- надійність штормового попередження та короткострокового прогнозу про НЯ різко збільшується, коли використовуються усі види метеоінформації та прогноз складає досвідчений спеціаліст;

- розмір збитку може бути мінімізований за умовою нормального функціонування всієї мережі служб, які задіяні при надзвичайних ситуаціях(метеослужба, телекомунікації, регіональні органи МНС, адміністрація регіону – споживачі у самому широкому сенсі цього слова).

## **6.2 Оцінка витрат на придбання і установку метеорологічних радіолокаторів**

Природно, для максимального економічного виграшу потрібна розумна мінімізація витрат на установку і експлуатацію МРЛ.

Оцінимо витрати на придбання, установку і експлуатацію автоматизованого МРЛ, які входять в витрати на отримання прогностичної ГМІ. Для цього залучимо дані, опубліковані в різних країнах в плинні останніх двох десятиків років (табл.6.1).

Уряд США виділив на розробку WSR–88D і створення мережі NEXRAD з 165 WSR–88D 1 млрд. доларів. На початок функціонування, вартість купівлі і установки одного радіолокатора WSR –88D складала в середньому 6 млн. доларів. З них, вартість виготовлення складає приблизно 2 млн. доларів. Розподіл вартості основних систем WSR –88D у відсотковому відношенні від загальної вартості наступний: підсистема

одержання радіолокаційних даних (RDA) – 60%, підсистема одержання і передачі радіолокаційних результатів(генератор радіолокаційних продуктів, RPG) – 20%, процесор основного споживача (PUP) – 20%.

Таблиця 6.1 – Витрати на придбання і установку МРЛ на позиції

№ п/п	Стаття витрат	Вартість, %
1	Автоматизований МРЛ з автономним електроживленням і запасним майном і приладами	30
2	Планування вибору місця для установки	4
3	Транспортування і попередній монтаж на місці установки	6
4	Навчання персоналу	0,2
5	Дощомірна мережа для кожного МРЛ (20 оптичних дощомірів з радіо модемом в центрі збору на ЕОМ)	10,3
6	Витрати на монтажні і пусконалагоджувальні роботи	49,5
Всього		100

### 6.3 Оцінка вартості експлуатації метеорологічних радіолокаторів

Оцінка експлуатаційних витрат автоматизованого МРЛ проведена для режиму відновлення радіолокаційної інформації кожні 10 хв, при наробітку на радіолокатор не менше 4500 годин за рік, при умові, що опади, кількість яких складає 1мм/д, спостерігаються в регіоні 140 днів на рік. Результати наведені в табл. 6.2.

Щорічні експлуатаційні витрати на один автоматизований МРЛ у складі мережі складають від 6 до 16% його вартості на виготовлення. За дослідженнями економістів, при оцінці собівартості гідрометеорологічної продукції(послуг) Держкомгідромета СРСР собівартість інформації одного автоматизованого МРЛ була оцінена у 99 110 руб. на рік (1990 р.). МРЛ-5 був автоматизований за допомогою апаратури АОМ “Циклон” та працював на АСУ повітряним рухом в режимі один раз у 15 хв. Якщо прийняти, що радянський карбованець дорівнював долару, то отримаємо вартість експлуатаційних витрат для автоматизованого МРЛ, яка дорівнює майже 100 тис. доларів на рік. При умовності такої оцінки її можна взяти за верхню межу, а за нижню межу взяти 30 тис. доларів на рік.

Вартість обслуговування і експлуатації автоматизованого МРЛ залежать від прийнятої стратегії та методів, але, як правило, складає в європейських країнах від 30 до 50% заводської вартості МРЛ на рік. З урахуванням цінових реалій в нашій країні можливо прийти до значення 6 – 16%.

Таблиця 6.2 Статті експлуатаційних витрат МРЛ

№ п/п	Стаття експлуатаційних витрат МРЛ	Вартість (%) від загальних витрат на експлуатаційні витрати	
		від	до
1	Витрати на утримування обслуговуючого персоналу з накладними витратами	26	40
2	Оренда виділених ліній зв'язку, включно міжміських, для доведення інформації МРЛ до споживачів і центру збору даних мережі МРЛ	16	20
3	Сплата електроенергії	3,5	4
4	Поточний ремонт МРЛ і профілактичні роботи з заміною комплектуючих з урахуванням витрат на придбання НВЧ комплектуючих з обмеженим ресурсом (магнетрони, тиратрони, НВЧ підсилювачі)	40	50

Основна економія при експлуатаційних витратах автоматизованих МРЛ полягає в виборі НВЧ комплектуючих з великими термінами напрацювання і в оптимальному виборі ліній зв'язку. Така економія особливо помітна на автоматизованих МРЛ, які не входять до мережі. В цьому випадку МРЛ працює в основному на забезпечення польотів в районі аеропорту, а для загальних прогностичних задач звичайно видає інформацію лише на момент складання і корекції прогнозів.

При обґрунтуванні витрат на придбання НВЧ комплектуючих потрібно аналізувати відношення вартості НВЧ виробу до часу його гарантованого напрацювання. Якщо НВЧ виріб коштує 30000 у.о і має гарантований термін напрацювання 50000 годин, то на 1000 годин його роботи буде витрачено 600 у.о. Якщо аналогічний НВЧ виріб коштує 5000 у.о, а термін гарантованого напрацювання 5000 годин, то на 1000 годин його роботи буде витрачено 1000 у.о. При напрацюванні автоматизованого МРЛ 4500 годин на рік, перший СВЧ виріб відпрацює без заміни 11 років, другий – трохи більше року.

При оцінці вартості експлуатації МРЛ слід враховувати різного роду витрати в період певного періоду експлуатації (року, строку служби і т.п.). До них відносять витрати на:

- обслуговуючий персонал (заробітна платня, харчування, спецодяг);
- проведення технічного обслуговування;
- ремонт;
- забезпечення умов роботи апаратури і обслуговуючого персоналу;
- забезпечення виконання завдань;

- транспортування і зберігання;
- адміністрацію.

При цьому можна розглядати поточні і середні витрати за певний період експлуатації, середні витрати на проведення одного технічного обслуговування, ремонту і т.п.

Для кількісної оцінки вартості експлуатації використовується нормований коефіцієнт економічної ефективності, який являє собою долю приросту накопичення за рік по відношенню до величини накопичення на початок року:

$$K_{ee} = (C_i - C_{i-1}) / C_{i-1} \quad (6.3)$$

де  $C_i, C_{i-1}$  - приведені витрати на кінець  $i$ -го та  $(i-1)$ -го року відповідно.

З (6.3) виходить, що різночасові витрати, які здійснюються в процесі експлуатації, необхідно привести до одного моменту часу. Ці приведені витрати визначаються за формулою складних процентів

$$C_i = C_{поч} (1 + K_{ee})^i \quad (6.4)$$

де  $C_{поч}$  - витрати в початковий момент періоду, який розглядається.

Вираз (6.4) відображає зростання накопичення, яке в загальному вигляді можна описати за допомогою наступної моделі. Прирошення вартості  $\Delta C = C_i - C_{i-1}$  за інтервал часу  $[t, t + \Delta t]$  пропорційно величині накопичення до початку інтервалу на тривалість інтервалу:

$$\Delta C = \lambda C(t) \Delta t \quad (6.5)$$

де  $C(t)$  - накопичення до моменту  $t$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт пропорційності.

$$C(t) = C_{поч} C \exp(\lambda t);$$

Переходячи до  $\Delta t \rightarrow 0$ , отримаємо диференціальний вираз

$$dC / dt = \lambda C(t) \quad (6.6)$$

Його розв'язком є

$$C(t) = C_{поч} C \exp(\lambda t),$$

де  $C_{поч}$  - початкове вкладення.

Вважаємо, що для одного року календарний час  $t_{кал} = 8760г$  та

$$C_{поч}(1 + K_{ee}) = C_{поч} \exp(\lambda t_{кал}) \quad (6.7)$$

Тому  $\lambda = [\ln(1 + K_{ee})] / t_{кал}$ .

Вираз (6.7) дозволяє визначити наведені витрати при умові, що вклади грошей здійснюються в різні моменти часу протягом року.

Будемо вважати, що незалежні витрати  $C_{поч}, C_1, \dots, C_r$  здійснюються в моменти часу  $0, t_1, \dots, t_r < t_{кал}$ . Тоді витрати, приведені до моменту  $t_{кал}$ , можна знайти за формулою

$$C(t_{кал}) = \sum_{i=0}^r C_i \exp[\lambda(t_{кал} - t_i)] \quad (6.8)$$

а витрати, приведені до початкового моменту,

$$C(0) = \sum_{i=0}^r C_i \exp(-\lambda t_i) \quad (6.9)$$

Інколи деякі витрати задають за напрацюванням МРЛ. Тоді слід перейти до відповідних показників за календарним часом. Якщо витрати за одиницю календарного часу складають  $C_{кал}$ . Тоді зберігаючи припущення щодо постійності відносної швидкості зростання внесків, сумарна, наведена до початкового моменту, величина витрат визначається як:

$$C(0) = \int_0^{t_{ек}} C_{кал} \exp(-\lambda t_i) dt = C_{кал} [1 - \exp(-\lambda t_{ек})] / \lambda \quad (6.10)$$

де  $t_{ек}$  - інтервал часу експлуатації, що розглядається.

Існують рекомендації для розрахунку сумарних витрат для різних виглядів апаратури в залежності від прийнятих показників надійності. Так для апаратури, надійність якої характеризується середнім напрацюванням до першої відмови  $T$  середня величина сумарних витрат дорівнює

$$\bar{C} = \bar{C}_{вир} + \bar{C}_с + \bar{C}_p T,$$

де  $\bar{C}_{вир}$  - середня вартість виробництва;  $\bar{C}_с$  - середні втрати від відмови;  $\bar{C}_p$  - середні питомі витрати на забезпечення роботи апаратури.

Для апаратури, надійність якої характеризується ймовірністю безвідмовної роботи середня величина сумарних витрат дорівнює

$$\bar{C} = \bar{C}_{вир} + \bar{C}_с [1 - P(t)] + C_{заб} P(t) \quad (6.11)$$

де  $P(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи апаратури за заданий час;  
 $C_{зав}$  - величина поточних витрат, необхідних для виконання однієї задачі.

Для економічної оцінки експлуатації МРЛ використовують і інші показники. Найбільш часто використовується коефіцієнт вартості експлуатації і вартість одного часу роботи МРЛ за прямим призначенням.

Коефіцієнт вартості експлуатації є відношення вартості експлуатації апаратури протягом певного відрізка часу до вартості її виробництва

$$K_{век} = C_{ек} / C_{вир} \quad (6.12)$$

Вартість одного часу роботи МРЛ за прямим призначенням визначається за формулою

$$C_{ip}(t_{заст}) = C / t_{заст} \quad (6.13)$$

де  $t_{заст}$  - сумарний час роботи апаратури в режимі застосування.

Величина  $C_{ip}(t_{заст})$  дозволяє оцінити ефективність використання апаратури з розрахунком витрат на експлуатацію.

Витрати на телекомунікаційні послуги залежать від схем, прийнятих при створенні мереж автоматизованих МРЛ, швидкість передачі інформації може коливатися в широких межах і зростає разом із вартістю цих послуг. Ці витрати можуть компенсуватись платою споживачів інформації як окремому МРЛ, так і мережі в цілому. Схеми підключення споживачів і обсяг наданих їм послуг в кожній країні різні та залежить від технічних можливостей і традицій кожної країни.

Швидкість проходження даних для подачі інформації в автоматизовані системи особливого призначення завжди строго регламентована і повинна втримуватися в надкритичних ситуаціях.

Не дивлячись на значні витрати на придбання, установку і введення до експлуатації автоматизованого МРЛ, їх об'єднання в мережу, розробку і удосконалення методів короткострокового прогнозування, застосування радіолокаційної МІ вважається економічно вигідним в усіх країнах світу.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.-303с.
2. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология.-С.П.: Гидрометеиздат, 2005.-491с.
3. Хандожко Л.А. Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.-231с.
4. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни „Економіка гідрометеорологічного забезпечення господарства України”, укл. Перелигін Б.В., Одеса, 2003. - 38с.
5. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. Под ред. Г.Б. Брылева .- СПб.: Гидрометеиздат, 2002.-331с.
6. Эксплуатация радиотехнических комплексов. Под ред. А.И. Александрова.-М.: “Сов.радио”, 1976.-280с.

Навчальне видання

**Головань В. Г.**

**ЕКОНОМІКА  
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ**

Конспект лекцій

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк..

Формат 60×84/16  
Тираж

Папір офс.  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, Львівська, 15

---