

Пліта Л.Л., Урум Н.С., Трофименко І.В., Бажак О.В.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ОЗНАКОВОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРОГНОЗНОГО СТАНУ ПОГОДИ ЗА МІСЦЕВИМИ ФАКТОРАМИ

Метою статті є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках). Поставлена мета досягається шляхом аналізу джерел інформації щодо можливих підходів до формалізації місцевих ознак погоди у різних місцевостях для їх подальшого виділення та проведення класифікації. Запропонований та реалізований принцип детермінованості для формалізації опису місцевих ознак прогнозного стану погоди. При формуванні ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках) визначені групові ознаки динаміки зміни погоди; проведено їх дихотомізацію і визначено еталонний набір ознак для кожного класу типу погоди. Реалізація матриці відповідності ознак та індексів належності типів погоди у бінарному ознаковому просторі дозволила перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих. Найбільш суттєвим результатом є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках), який відрізняється застосуванням бінарних відносин та дівізимних процедур; ієрархічною структурою класифікації типів погоди; особливостями структури синглетонної бази знань про місцеві ознаки погоди та її зміни. Подальшим напрямом роботи є формалізація місцевих ознак погоди іншого типу з більш складними властивостями; аналіз повноти і достовірності вхідної інформації для визначення переваги пропонованих варіантів рішення; реалізація механізму логічного виведення, що відповідатиме обраному апарату формалізації, з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення.

Ключові слова: *ознаковий простір, місцеві ознаки, формалізація, база знань, прогноз, класифікація, дихотомізація, зміна погоди, безпека судноплавства.*

Постановка проблеми. Спеціальні метеорологічні супутники, метеорологічні станції, інші джерела інформації щомиті передають мільйони біт інформації задля створення на Землі точних прогнозів погоди. Такі прогнози погоди на наступні 12, 24, 48 і 72 години регулярно передаються у підсистемах передачі даних NAVTEX і SafetyNet, по радіо, в інтернеті та іншими способами. Їх користувачами є конкретні фізичні особи, сільськогосподарські підприємства, авіаційні та судноплавні компанії тощо. Ці дані використовують військові, доповнюючи їх інформацією з власних метеорологічних джерел.

Величезні об'єми інформації вже давно не обробляються вручну. Не вистачить ні часу, ні людських ресурсів. Потужні обчислювальні центри, ядром яких є сучасні суперкомп'ютери і просунуте програмне забезпечення, дозволяють майже в режимі реального часу оцінювати поточну синоптичну обстановку, її найближчий та віддалений прогноз, планувати і, за необхідності, корегувати маршрути переходу суден, призупиняти виловлення риби, приймати певні заходи щодо добування корисних копалин, видобутку нафти, газу тощо, проводити інші дії, на які суттєво впливає погода. Дуже важливу роль у функціонуванні синоптичних центрів грає якість застосовуваного програмного забезпечення. На торгових суднах широке використання знайшло програмне забезпечення SPOS від компаній MeteoGroup, PassageWeather, Windfinder та ін.

Однак, не дивлячись на постійне вдосконалення наявних у розпорядженні моряків технічних та програмних засобів для отримання точних, оперативних, регулярних і всеохоплюючих прогнозів погоди, сучасних інструментів для аналізу синоптичної обстановки, для забезпечення безпеки судноплавства важливим залишається уміння капітана і штурманів визначати зміну погоди за місцевими ознаками.

Використання моряками місцевих ознак, зроблені ними протягом століть спостереження над станом вітрів і штормів і у теперішні часи є вельми корисними. Так, відомості про вітри і шторми, наприклад у районі Британських островів, є актуальними під час плавання в Балтійському, Північному, Норвезькому морях і біля берегів Німеччини, Нідерландів, Великої Британії, Ірландії та Франції.

Розглянемо детальніше ці місцеві ознаки, спираючись на роботу [1].

Відомо, що біля англійських берегів найчастіше дмуть південно-західний і північно-східний вітри.

За більш частим теплим і вологим південно-західним вітром (екваторіальна течія повітря) барометр стоїть низько, а погода є хмарною і сирою. Перед переходом північно-східного вітру в південно-західний барометр опускається. Ця зміна починається переходом вітру в SO або SSO, який дме кілька годин із сильним дощем. Південно-західному вітру часто передують раптові недовгі піднесення барометра, яке доволі швидко зупиняється, і барометр починає стрімко падати.

Північно-східний вітер (полярна течія повітря) відрізняється тим, що барометр стоїть високо, і погода зазвичай є ясною і сухою. Барометр піднімається перед переходом південно-західного вітру у північно-східний. Дана зміна починається переходом вітру в NW або NNW, який взимку часто супроводжується снігом.

Також помічено, що шторми біля Британських островів здебільшого бувають від південного заходу, а вітер при цьому може дати від будь-якого румба між SO, W і WNW через S.

Цікаве спостереження стосується зими. Після східних вітрів, якщо барометр почне падати, а температура підвищуватися, то слід очікувати південно-східного вітру, який перейде в південно-західний, причому барометр буде постійно падати. Але щойно вітер задуює від SW, як барометр почне підвищуватися, то піде сильний дощ, який може змінитися міцним вітром від WNW або NW. Після цього небо проясняється, і погода стає холодною. Іноді, хоча й рідко, північно-західний вітер може перейти в північний або північно-східний.

Ось такі місцеві ознаки характеризують зміну вітру, тиску, температури, наявність дощу і хмар взимку.

І продовження цього опису. Якщо вітер повертається від NW через W і SW і продовжує залишатися свіжим, то можна розраховувати на продовження штормової погоди. Найчастіше ці вітри починаються на західному березі Ірландії і потім поширюються на схід. Якщо напрямку вітру змінюється раптово, то шторм може дати від NW на березі Ірландії, тоді як на східному березі Англії він почнеться тільки від S або SSO.

Причиною цих вітрів є зіткнення екваторіальної та полярної течій. Їх сила відбивається на силі вітрів, які бувають дуже сильними, на дуже швидкій зміні повітряного тиску й температури, на супроводженні штормів громом і блискавкою.

Встановлено, що північно-східні шторми бувають рідше, ніж південно-західні. Наближення північно-східних штормів зазвичай не позначено такими вірними ознаками, як наближення південно-західних штормів, що є серйозною небезпекою на східному узбережжі Великої Британії. Таким штормам часто передують низька за порою року температура. Починаються вони зазвичай вітрами від NW або NNW і великою кількістю снігу, потім небо швидко проясняється, і вітер дме з великою силою від північного сходу.

Полярні або північно-східні шторми характеризуються відносною стабільністю вітру у порівнянні з південно-західними штормами: вітер рідко переходить на 2 або на 3 румба. Навпаки, під час екваторіальних або південно-західних штормів вітер нерідко змінюється за годинниковою стрілкою на 6 або на 7 румбів.

Ось такий дуже стислий опис свідчить, що не лише дані від Служби погоди, але й знання місцевих умов плавання, особливих місцевих ознак, є запорукою досягнення заданих показників безпеки судноплавства, надійною основою збереження життів екіпажу, пасажирів і цілісності вантажу. Але ж слід пам'ятати, що завжди пальма першості слід віддавати прогнозам бюро погоди, а місцеві ознаки залишати як гарне доповнення до них.

Разом з тим, у часи стрімкого розвитку інформаційних технологій, застосування принципів штучного інтелекту у різних прикладних додатках все чіткіше вирисовується можливість використання місцевих ознак для створення прототипу системи підтримки прийняття рішення щодо прогнозу стану очікуваної погоди у певному районі (території).

Після виділення місцевих ознак, їх можливого групування та класифікаційного опису для уточнення прогнозу погоди на певних територіях необхідно розробити метод формалізації сукупності місцевих ознак погоди. На теперішній день це питання залишається невирішеним. Тому розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами є актуальним завданням, яке, сподіваємось, знайде подальше вирішення у роботах однодумців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення прогнозу погоди необхідно провести аналіз методів формалізації процесів прийняття рішень.

У загальному випадку формалізації процесів прийняття рішень у будь-якій сфері застосовують інформаційний або когнітивний підходи.

Зазвичай інформаційний підхід знайшов місце у системах, що працюють у типових умовах, коли є достатньо часу для глибокого аналізу обстановки і прийняття рішень. Комп'ютер тоді є допоміжним засобом для оцінки варіантів рішень [2]. Такий підхід є підходящим для здійснення середньострокових прогнозів.

Системи управління з високим ступенем адаптивності до зовнішніх умов застосовують когнітивний підхід. Отже, для прогнозування погоди важливим завданням є представлення знань [3].

Представлення знань базується на використанні формальних або неформальних моделей. Формальні моделі будуються на строгій математичній теорії, а кожна неформальна модель розробляється під конкретну предметну область із застосуванням логічних, фреймових і продукційних моделей, нейронних або семантичних мереж [2, 4, 5]. Неформальні системи у певному сенсі є суб'єктивними.

Навіть поверховий аналіз предметної області свідчить, що для визначення прогнозу погоди за місцевими ознаками найбільш підходять продукційні моделі. Вони дуже наочні, подібні до людських міркувань, близькі до логічних моделей, їх порівняно легко інтерпретувати, характеризуються ефективними процедурами виведення.

У загальному випадку продукція являє собою конструкцію такого вигляду: $\langle \text{ім'я продукції} \rangle \langle \text{умова } (\alpha) \rangle \langle \text{вираз } (\beta) \rangle$.

Формалізація завдання з прогнозу погоди характеризується невизначеністю, для зниження рівня якої пропонується використовувати теорію нечітких множин [4-7].

Прогнозований стан погоди може бути описано природною мовою і формалізовано сукупністю логічних висловлювань. Задіяний принцип причинно-наслідкового зв'язку між інформаційними (місцевими) ознаками та результатом (прогнозованим станом погоди) реалізується за допомогою таких механізмів логічного виведення [8]:

- нечітких продукційних правил;
- алгоритмів багатокритеріального вибору;
- прецедентів і вибору за аналогією (нечіткого розпізнавання ситуацій).

Визначення стану погоди за певними місцевими ознаками може бути віднесено у загальному випадку до завдань розпізнавання ситуацій. Тоді для прийняття рішення про клас стану погоди необхідно порівняти поточні значення спостережуваних місцевих ознак з еталонними, заздалегідь введеними до бази знань. Відповідність певного стану погоди

деякому апріорному класу (алфавіту) може вибиратись за правилом, що сума відстаней від якого-сь класу S^* до всіх інших класів S_i є мінімальною $\sum_i^N D(S_i, S^*) \rightarrow \min$.

Ступінь подібності може визначатися шляхом використання міри схожості за Дейком, Лукасевичем, Танімото та ін. [4, 6, 7]. Але при прогнозуванні погоди за місцевими ознаками процеси можуть відбуватися швидкоплинно, навіть стрибкоподібно. Протягом невеликого проміжку часу кількість (і значення) спостережуваних ознак можуть змінюватися у досить широких межах. Тому використання методу вибору за аналогією для вирішення завдання прогнозування стану погоди за місцевими ознаками з неповнотою інформації є проблематичним. Виходом з такої ситуації, можливо, є комбінація методу вибору за аналогією з іншими методами за умов достатності інформації.

У відомій літературі відсутня інформація щодо формалізації процесу прийняття рішень з класифікації стану погоди за місцевими ознаками. Але в інших предметних областях просунулися значно далі. Так, при класифікації повітряних суден застосовується метод, заснований на продукційних моделях і нечіткій логіці [9]. Використаний там концептуальний підхід щодо побудови бази знань можна взяти за основу для розробки методу класифікації прогнозованого стану погоди.

Для формального представлення знань з класифікації прогнозованого стану погоди пропонується застосувати комбінацію нечітких продукційних моделей з розвинутим апаратом виведення, моделей з детермінованим логічним виведенням на основі звичайної булевої логіки і методу вибору за аналогією. Обраний формально-логічний апарат потребує у подальшому розробки двох механізмів логічного виведення – детермінованого та в умовах нечіткості. Причому необхідно математично описати класи шляхом порівняння еталонних і поточних значень ознак, визначити класи типу погоди за обраним критерієм близькості або за допомогою обраних механізмів логічного виведення, оцінити ступінь відповідності отриманих класів типів погоди розробленим на етапі концептуалізації.

Метою статті є розробка методу формалізації ознакового простору для класифікації прогнозного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках).

Викладення основного матеріалу дослідження.

Формалізація місцевих ознак погоди шляхом дихотомізації

Для впевненої класифікації стану погоди необхідно дотримуватися таких вимог [10]:

– відповідність формалізованого опису знань про стан погоди математичній моделі класів;

– повнота і бажана несуперечність формалізованих знань щодо класифікації стану погоди. Але тут необхідно виходити з очевидного факту, що неоднозначні (нестійкі) процеси в атмосфері описуються суперечливими ознаками. У такому разі необхідно керуватися ознаками, що виражені більш різко, яскраво;

– оперативність надходження інформації;

– відкритість системи підтримки прийняття рішення (СППР);

– надходження даних від різних джерел.

Для опису прогнозованого стану погоди можна використати сукупність груп ознак про [11, 12]:

– вигляд Сонця, Місяця і зорі;

– зірки;

– хмари і колір неба;

– барометр;

– вітер;

– температуру;

– тумани;

– видимість;

– вологість;

– інші різні прикмети.

Для кожного класу (стану) погоди властивий свій набір кількісних і якісних ознак [13]. Кількісні ознаки є вимірюваними, можуть оцінюватися і кількісно порівнюватися між собою. Якісні ознаки визначають семантичний опис властивостей стану.

Окремо для кожної групи ознак визначають значення (діапазон, інтервал, проміжок і т. п.) на основі експериментальних даних або експертних оцінок. У статті використаний саме спосіб експертних оцінок. У кожній групі деякі ознаки можуть представлятися у бінарному просторі (“1” або “0”) шляхом дихотомізації даних [14]. Для чого це робиться? Дихотомізація або дивізімна процедура дозволяє перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих і, таким чином, визначити їх в єдиній безрозмірній метриці. А сам процес уявляє собою послідовну декомпозицію узагальненої ознаки A_i на простір часткових $\alpha_{i,j}$ (табл. 1). З іншого боку, можна сказати, що часткові ознаки $\alpha_{i,j}$ стану погоди зібрані у групи A_i за типом.

Таблиця 1 – Інформаційні ознаки, що описують стан погоди (фрагмент)

Ознаки	Семантичний опис ознак
1	2
A_1	<i>За виглядом Сонця, Місяця і зорі</i>
$\alpha_{1,1}$	Наявність кола навколо Сонця і Місяця
$\alpha_{1,2}$	Відсутність кола навколо Сонця і Місяця
$\alpha_{1,3}$	Викривлення диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,4}$	Розділення на частини темними смугами диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,5}$	Відсутність викривлення або розділення на частини темними смугами диска Сонця або Місяця під час сходу або заходу
$\alpha_{1,6}$	Наявність пурпурового забарвлення по краях густих хмар, за які заходить Сонце
$\alpha_{1,7}$	Відсутність пурпурового забарвлення по краях густих хмар, за які заходить Сонце
$\alpha_{1,8}$	Наявність спочатку просвічення Сонця тьмяним, розмитим диском, а потім його зникнення (невидимість)
$\alpha_{1,9}$	Відсутність явища, описаного ознакою $\alpha_{1,8}$
$\alpha_{1,10}$	Наявність червоної або багряно-червоної зорі під час заходу Сонця
$\alpha_{1,11}$	Відсутність червоної або багряно-червоної зорі під час заходу Сонця
$\alpha_{1,12}$	Наявність жовтої і жовто-рожевої зорі
$\alpha_{1,13}$	Відсутність жовтої і жовто-рожевої зорі
$\alpha_{1,14}$	Наявність ніжно-рожевої зорі у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,15}$	Відсутність ніжно-рожевої зорі у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,16}$	Перехід ніжно-рожевої зорі у рожево-червону у вигляді кола над сонцем, що зайшло за обрій
$\alpha_{1,17}$	Наявність золотої зорі
$\alpha_{1,18}$	Відсутність золотої зорі

Аналогічно будуються таблиці з частковими ознаками $\alpha_{i,j}$ стану погоди для інших груп A_i ($i = 2 - 10$). Групування ознак у цьому випадку здійснюється за таким принципом: по зірках; по хмарах і кольору неба; по барометру; за вітром; за температурою; за туманами; за видимістю; за вологістю; за іншими різними прикметами.

Вказані часткові ознаки $\alpha_{i,j}$ є підставою для визначення класів стану погоди $\beta_{i,j}$. Опис класів станів погоди наведений у табл. 2.

Таблиця 2 – Опис класів станів очікуваної погоди

Класи	Семантичний опис класів
I рівень	За ступенем стабільності
$\beta_{1.1}$	Погіршення погоди
$\beta_{1.2}$	Покращення погоди
$\beta_{1.3}$	Збереження характеру погоди на найближчі 8-12 год.
$\beta_{1.4}$	Гарна антициклонічна погода зі слабким вітром або безвітрям, невеликою хмарністю і хорошою видимістю протягом найближчих 12 год.
$\beta_{1.5}$	Погана погода (похмура, з опадами, сильним вітром, поганою видимістю) протягом найближчих 6 год. і більше

Крім того, два типи очікуваної погоди погіршення $\beta_{1.1}$ і покращення $\beta_{1.2}$ мають по два проміжні стани. Перший стан $\beta_{1.1}$ має два проміжні стани: $\beta_{1.1.1}$ – наближення теплового фронту циклону з похмурою погодою і свіжим вітром через 6-12 год і $\beta_{1.1.2}$ – наближення холодного фронту, грози та шторму за 1-2 год до його початку. Другий очікуваний стан погоди також має два проміжні стани: $\beta_{1.2.1}$ – припинення опадів і послаблення вітру в найближчі 4 год після проходження теплового фронту або фронту оклюзії 6-12 год і $\beta_{1.2.2}$ – припинення опадів, зміна напрямку вітру та прояснення через 2-4 год після проходження холодного фронту другого роду.

Представимо процедуру класифікації станів погоди у вигляді графу, в якому $\alpha_{i,j}$ – ознаки, $\beta_{m,n}$ – клас стану погоди, i – група ознаки, j – черговий номер ознаки у групі, m – рівень класифікації, n – черговий номер класу на цьому рівні (рис. 1). На цьому рисунку введені позначки: 1 відповідає ознаці $\alpha_{1.1}$; 2 – $\alpha_{1.2}$; 3 – $\alpha_{1.3}$; ...; 18 – $\alpha_{1.18}$.

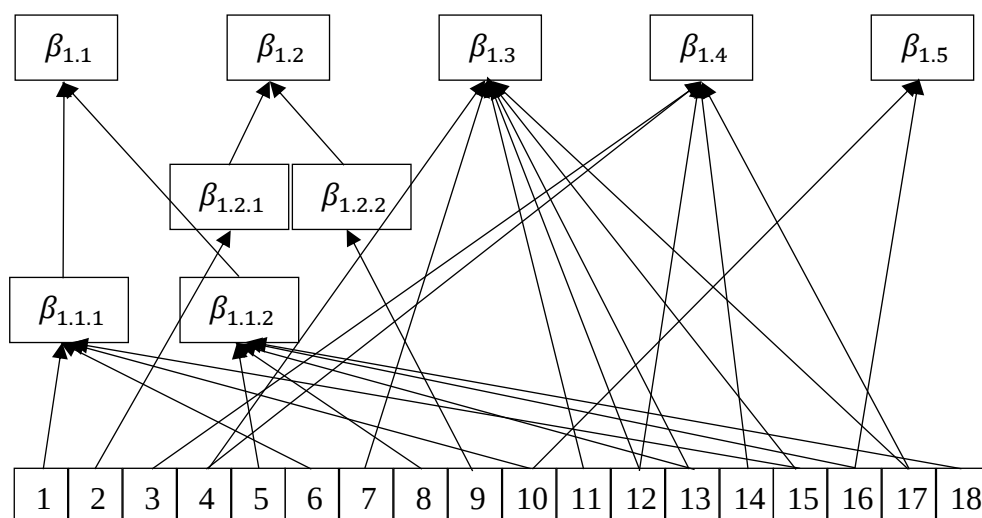


Рисунок 1 – Граф відповідності інформаційних місцевих ознак станам очікуваної погоди

Бінарний ознаковий простір дозволяє сформувати матрицю відповідності ознак та індексів належності типів очікуваної погоди (матрицю знань) (таблиця 3), а в подальшому перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих.

Таблиця 3 – Матриця відповідності ознак та індексів належності типів очікуваної погоди

	$\beta_{1.1.1}$	$\beta_{1.1.2}$	$\beta_{1.2.1}$	$\beta_{1.2.2}$	$\beta_{1.1}$	$\beta_{1.2}$	$\beta_{1.3}$	$\beta_{1.4}$	$\beta_{1.5}$
$\alpha_{1.1}$	1								
$\alpha_{1.2}$			1						
$\alpha_{1.3}$								1	
$\alpha_{1.4}$							1	1	
$\alpha_{1.5}$		1							

$\alpha_{1.6}$	1								
$\alpha_{1.7}$							1		
$\alpha_{1.8}$		1							
$\alpha_{1.9}$				1					
$\alpha_{1.10}$	1								1
$\alpha_{1.11}$							1		
$\alpha_{1.12}$							1	1	
$\alpha_{1.13}$		1					1		
$\alpha_{1.14}$								1	
$\alpha_{1.15}$	1						1		
$\alpha_{1.16}$		1							1
$\alpha_{1.17}$							1	1	
$\alpha_{1.18}$		1							
$\beta_{1.1.1}$					1				
$\beta_{1.1.2}$					1				
$\beta_{1.2.1}$						1			
$\beta_{1.2.2}$						1			

Висновки. Отже, у статті вирішене актуальне завдання з розробки методу формалізації ознакового простору для класифікації прогностного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках).

1. Формалізація опису місцевих ознак прогностного стану погоди базується на принципі детермінованості. Запропонований метод формування ознакового простору для класифікації прогностного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках) містить визначення групових (узагальнених) ознак динаміки зміни погоди; їх дихотомізацію і визначення еталонного набору ознак для кожного класу типу погоди. Матриця відповідності ознак та індексів належності типів погоди формується у бінарному ознаковому просторі. Це дозволяє перейти від лінгвістичних змінних у базі знань до булевих.

2. Запропонована ієрархічна система класифікації типів погоди. Введена система класифікації дозволяє визначити небезпечні типи погоди, які потребують особливої уваги з боку судноводія та команди; і зіставити існуючу систему класифікації типів погоди за індексами належності з сучасними вимогами до її визначення Службою погоди.

3. Розроблений метод формалізації ознакового простору для класифікації прогностного стану погоди за місцевими факторами на певних територіях (ділянках), який відрізняється застосуванням бінарних відносин та дівізімних процедур; ієрархічною структурою класифікації типів погоди; особливостями структури сінглетонної бази знань про місцеві ознаки погоди та її зміни.

4. Місцеві фактори, за допомогою яких можна покращувати прогнози погоди, не є однорідними. Розроблений підхід дозволив формалізувати лише одну частину місцевих ознак погоди. Попереду ще велика ділянка роботи, яка стосується формалізації другого кола місцевих ознак погоди, які володіють іншими властивостями. Після виконання формалізації місцевих ознак погоди ще багато зусиль потребує аналіз повноти і достовірності вхідної інформації для визначення переваги пропонованих варіантів рішення; вивчення та реалізації особливостей механізму логічного виведення, який, на нашу думку, матиме детерміновані гілки прийняття рішень про стан погоди та гілки прийняття рішень на основі нечіткого логічного виведення з формуванням вектору “довіри” до варіантів рішення. Але найважливішим кроком на шляху створення прототипу системи підтримки прийняття рішень про передбачення погоди, яка базуватиметься на прогнозі, що надходить від Служби погоди, та знаннях про місцеві прикмети й ознаки, є розробка методу формалізації ознак, з якою ми впоралися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Местные признаки погоды. [режим доступа <https://www.google.com/> , дата звернення: 02.11.2022].
2. Бондарев А.В. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для вузов / А.В. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2002. – 615 с.
3. Кушлик-Дивульська О.І., Кушлик Б.Р. Основи теорії прийняття рішень. – К., 2014. – 94 с.
4. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
5. Тімочко О.О. Розробка методів формалізації знань про процес класифікації повітряних об'єктів / О.О. Тімочко, Д.М. Обідін // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 61-65. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2015_1_18.
6. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
7. Катренко А.В. Теорія прийняття рішень. Підручник/ А.В. Катренко, В.В. Пасічник, В.П. Пасько. – К.: БНУ, 2009. – 448с.
8. Зуєв, П.П. Пропозиції щодо удосконалення методів вироблення рішень в автоматизованих системах управління черговими силами об'єднання Повітряних Сил / П.П. Зуєв, О.О. Тімочко, А.А. Кизима // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2016. – Вип. 1(37). – С. 26-28. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_1_9.
9. Олизаренко С.А. Перепелица А.В., Брежнев Е.В. Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, Е.В. Брежнев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 8 (89). – С. 131-140.
10. Тімочко О.О. Вдосконалений метод класифікації повітряних об'єктів / О.О. Тімочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2019. – № 1. – С. 58-63. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2019_1_10.
11. Місцеві ознаки погоди. [режим доступа <https://pogoda.rovno.ua/node/206>, дата звернення: 02.11.2022].
12. Артеменко А.М. Вимоги до складу та якості радіолокаційної інформації, необхідної для виявлення терористичних загроз з повітря / А.М. Артеменко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // Системи управління, навігації та зв'язку – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 28-31.
13. Грачев В.М. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети / В.М. Грачев, А.Н. Попрыгин // Сб. научн. тр. ХВУ – Х.: ХВУ, 1995. – Вип. 8. – С. 49-54.
14. Теорія прийняття рішень [текст] підручник. / За заг. ред. Бутка М. П. [М. П. Бутко, І. М. Бутко, В. П. Мащенко та ін.] – К. : «Центр учбової літератури», 2015. – 360 с.

REFERENCES

1. *Local signs of weather*. [access mode <https://www.google.com/> , date of the application: 02.11.2022].
2. Bondarev A.V. "Artificial intelligence" : Proc. allowance for universities ["*Iskusstvennyy intellekt*"] / A.V. Bondarev, F.G. Ade. - Sevastopol: SevNTU Publishing House, 2002. - 615 p.
3. O.I. Kushlyk-Dyvulska, B.R. Kushlyk "*Basics of decision-making theory*" ["*Osnovy teoriiy pryynyattya rishen*"]. - K., 2014. - 94 p.
4. Rotstein A.P. "*Intelligent identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks*" ["*Iskusstvennyy intellekt: V 3 kn. Kn. 1. Sistemy obshcheniya i ekspertnyye sistemy: spravochnik*"] / A.P. Rothstein. - Vinnitsa: UNIVERSUM, 1999. - 320 p.

5. Timochko, O.O. "Development of methods for formalizing knowledge about the process of classifying repeated objects" ["Rozrobka metodiv formalizatsiyi znan' pro protses klasyfikatsiyi povitryanykh ob'yektiv"] / O.O. Timochko, D.M. Obidin // Management systems, navigation and communication. - 2015. - VIP. 1(33) . - S. 61-65. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2015_1_18.

6. Gerasimov B.M. "Fuzzy sets in the problems of design, management and information processing" ["Nechetkiye mnozhestva v zadachakh proyektirovaniya, upravleniya i obrabotki informatsii "] / B.M. Gerasimov, G.G. Grabovsky, N.A. Ryumshin. - K.: Tekhnika, 2002. - 140 p.

7. Katrenko A.V. "Decision making theory". ["Teoriya pryynyattya rishen'"]. Textbook/ A.V. Katrenko, V.V. Pasichnik, V.P. Pasko - K.: BHV, 2009. - 448p.

8. Zuev, P.P. "Proposals for the improvement of decision-making methods in the automated control systems of the active forces of the Air Force Association" ["Propozytsiyi shchodo udoskonalennya metodiv vyroblennya rishen' v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnya chervovymy sylamy ob'yednannya Povitryanykh Syl"] / P.P. Zuev, O.O. Timochko, A.A. Kyzyma // Management, navigation and communication systems. - 2016. - Issue 1(37). - P. 26-28. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_1_9.

9. Olizarenko S.A. Perepelitsa A.V., Brezhnev E.V. "Fuzzy sets of type 2. Terminology and representation" ["Nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya i predstavleniye"] / S.A. Olizarenko, A.V. Perepelitsa, E.V. Brezhnev // Information processing systems. - H.: HUPS, 2010. - VIP. 8 (89). - S. 131-140.

10. Timochko, O.O. "The improved method of classification of air objects" ["Vdoskonalenyy metod klasyfikatsiyi povitryanykh ob'yektiv"] / O.O. Timochko // Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. - 2019. - No. 1. - P. 58-63. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2019_1_10.

11. Місцеві ознаки погоди. [режим доступу <https://pogoda.rovno.ua/node/206>, дата звернення: 02.11.2022].

12. Artemenko A.M. "Requirements for the composition and quality of radar information necessary for the detection of terrorist threats from the air" ["Vymohy do skladu ta yakosti radiolokatsiynoi informatsiyi, neobkhidnoi dlya vyyavlennya terorystychnykh zahroz z povitrya"] / A.M. Artemenko, H.G. Kamaltinov, O.S. Malyarenko // Management, navigation and communication systems - K.: Central research institute of navigation and management, 2009. - Vol. 2 (10). - P. 28-31.

13. Grachev V.M. "A technique for recognizing classes of air objects in an air defense automated control system using a homogeneous functional network" ["Metodika raspoznavaniya klassov vozdushnykh ob'yektiv v ASU PVO s ispol'zovaniyem odnorodnoy funktsional'noy seti"] / V.M. Grachev, A.N. Poprygin // Sat. scientific tr. HVU - H.: HVU, 1995. - VIP. 8. - S. 49-54

14. "Theory of decision-making" ["Teoriya pryynyattya rishen'"] [text] textbook. / In general ed. Butka M. P. [M. P. Butko, I. M. Butko, V. P. Mashchenko, etc.] - K.: "Center for Educational Literature", 2015. - 360 p.

Plita L.L., Urum N.S., Trofymenko I.V., Bazhak O.V.

A METHOD OF FORMALIZATION OF THE FEATURE SPACE FOR CLASSIFICATION OF THE FORECAST WEATHER CONDITION BY LOCAL FACTORS

The aim of the article is to develop a method of formalization of the feature space for classification of the forecast weather condition by local factors in certain territories (areas). This goal is achieved by analysing the sources of information on approaches to the formalization of local weather features in different areas for their further selection and classification. The principle of determinism is proposed and implemented to formalize the description of local features of the forecast weather condition. In the formation of the feature space for the classification of the forecast weather

condition according to local factors in certain areas (sites), group features of the dynamics of weather change are determined; their dichotomization is conducted and a reference set of features for each class of weather type is determined. The implementation of the matrix of correspondence of features and indices of belonging to weather types in the binary feature space allowed to move from linguistic variables in the knowledge base to Boolean ones. The most significant result is the development of a method of formalization of the feature space for the classification of the forecast weather condition according to local factors in certain territories (areas), which is distinguished by the use of binary relations and divisive procedures; hierarchical structure of the classification of weather types; features of the structure of the singleton knowledge base of local weather signs and its changes. The further direction of work is the formalization of local weather signs of another type with more complex properties; analysis of the completeness and reliability of input information to determine the advantage of the proposed solution options; implementation of a logical inference mechanism that will correspond to the chosen formalization apparatus, with the formation of a vector of "trust" in the solution options.

Keywords: *feature space, local features, formalization, knowledge base, forecast, classification, dichotomization, weather change, navigation safety.*