

## НОВИЙ ПІДХІД ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МАЛИХ РІЧОК ЗА НЕЧІТКИМИ ЕКСПЕРТНИМИ ОЦІНКАМИ

*Розглянуто задачу ідентифікації основних параметрів (паспортних характеристик) малих річок на основі теорії нечітких множин, які є необхідними для проведення математичного моделювання процесів у річках. Запропоновано два нових методи: метод «один об'єкт — один експерт», і метод синхронізації інтервалів значень, коли кожен експерт проводить оцінювання на своєму інтервалі значень. Розроблено алгоритми усунення суб'єктивізму експертів та врахування їх фаху та досвіду. Наведено результати апробації методу синхронізації інтервалів значень для експертного оцінювання параметрів малих річок Вінницької області.*

### 1. Постановка задачі

Більшість задач, пов'язаних з математичним моделюванням процесів у малих річках, так чи інакше вимагають знання їх середньостатистичних параметрів (паспортних даних), принаймні, їх витрат води, глибини, ширини та середньої швидкості течії, як у різних створах, так і в різні пори року. Для добре обстежених малих річок ці параметри є відомими, але, по-перше, деякі з них із часом зазнають змін, по-друге, для більшості малих річок країни ці параметри є невідомими або є відомим тільки якесь значення цих параметрів, усереднене за рік (або тільки для меженого періоду) та по всій довжині річки.

Традиційний підхід до оцінювання чи розрахунку цих параметрів за результатами детальних польових досліджень водотоків не дозволяє провести ідентифікацію параметрів великої кількості малих річок в різні пори року та у різних їх створах, головним чином, через фінансові та людські обмеження. Наприклад, тільки у Вінницькій області за офіційними даними Вінницького Облводгоспу нараховується більше 230 малих річок довжиною більше 10 км. Якщо на кожній ідентифікувати параметри лише 2—3 створів, то і тоді це складе — 500...600 створів. А в межах України — значно більше.

В статтях [1, 2] автором запропоновано для проведення такої ідентифікації використовувати оцінки експертів та апарат теорії нечітких множин [1], де рекомендовано:

1. Оцінювати параметри річок не кількісно, а якісно з використанням апарату теорії нечітких множин [2—4].

2. Параметри річок («Глибина» ( $H$ ), «Швидкість течії» ( $V$ ), «Замуленість русла» ( $M$ ), «Товщина льоду» ( $L$ ) та ін.) розглядати як лінгвістичні змінні, варіанти значень яких є «термами», що приймають не числові значення, а семантичні, наприклад «Дуже велика», «Велика», «Більше середньої», «Середня», «Низька», «Не дуже велика і не середня» [2—4].

В статті [2] охарактеризовано категорії експертів, які можуть брати участь в оцінці: експерти-гідрологи, які добре знають річки даного регіону; фахівці-картографи чи топографи, які оцінюють параметри річок за допомогою електронних геоінформаційних чи паперових карт (яким чином — це детально викладено в самій статті [2]); експерти-учасники польових експедиційних досліджень або результати цих досліджень, отримані експертами раніше, висновки яких з часом застарівають, але можуть використовуватись не як домінуюча оцінка, а одна з багатьох, яка з певною ймовірністю може мати місце і зараз.

Для обробки експертних даних існує стандартний математичний апарат [3, 4], однак, для ідентифікації саме малих річок, оцінювання параметрів яких можуть робити небагато досвідчених експертів, доцільно розробити нові методи ідентифікації, які дозволяли б максимально усунути суб'єктивізм подібних оцінок. В даній роботі пропонуються два таких методи:

1. Метод «один об'єкт — один експерт». Є ймовірною ситуація, що тільки один досить досвідчений експерт може вказати ті чи інші параметри малої річки. Його оцінку і можна врахувати, попередньо провівши «калібрування» його інших оцінок або на контрольних річках, по яких є й інші оцінки, або на спеціальному комп'ютерному тренажері.

2. *Метод синхронізації інтервалів значень*, коли кожен експерт проводить оцінювання на своєму інтервалі значень, тобто один вважає, що надзвичайно велика ширина малої річки в повинь — це 20 метрів, інший — 100 метрів. Це вносить суб'єктивізм експерта в його оцінку. Чим менш досвідчений експерт, чим менше він буває на малих річках саме того регіону, що ідентифікується, тим меншу роль його оцінка повинна відігравати під час виведення загальної оцінки, і навпаки.

Наповнимо змістом ці методи.

## 2. Метод оцінювання «один об'єкт — один експерт»

Ситуація «один об'єкт — один експерт» може виникнути за таких умов: місцевість зазнала суттєвого антропогенного втручання з часу, коли були зроблені останні її детальні топографічні карти, сучасні ж дрібномасштабні супутникові карти не дають належної точності, а аерофотозйомка та натурні польові дослідження не проводились.

Для ідентифікації пропонується використовувати відомий у вимірвальній практиці метод, коли вимірвальний прилад спочатку калібрують на тестових вимірваннях, тобто будують криву, за якою по його «суб'єктивних» оцінках можна вирахувати «об'єктивні» («еталонні»).

Калібрування можна проводити двома способами: 1) на контрольних річках, по яких є й інші експертні оцінки, 2) на спеціальному комп'ютерному тренажері. В будь-якому разі слід забезпечити досить велику кількість тестових прикладів з різними параметрами, сформувавши ряд оцінок експерта та їх «еталонних» варіантів і потім ідентифікувати закон адаптації (приведення) оцінок користувача до еталонних значень, наприклад за методом найменших квадратів, тобто функцію, яка ставить у відповідність кожній оцінці користувача еталонне значення. Далі за ідентифікованим законом адаптації перевизначаються оцінки експерта, тобто здійснюється їх приведення до єдиного еталону.

## 3. Метод експертного оцінювання із синхронізацією інтервалів значень

Як було зазначено вище, є необхідним розробка методу ідентифікації, коли кожен експерт проводить оцінювання на своєму інтервалі значень. Треба розробити алгоритм синхронізації різних інтервалів значень оцінок експертів з урахуванням їх досвіду та фаху.

Характеристики лінгвістичних змінних, які використовуються [2]:

— універсальна множина значень (1, 0) (відповідає максимальному значенню інтервалу числових значень параметра, 0 — мінімальному)

$$U^* = 0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,5 + 0,6 + 0,7 + 0,8 + 0,9; \quad (1)$$

— терм-множина:

«НМ» — «Надзвичайно малий», «ДМ» — «Дуже малий», «М» — «Малий», «МС» — «Менший середнього», «С» — «Середній», «ВС» — «Вищий середнього», «В» — «Високий», «ДВ» — «Дуже високий», «НВ» — «Надзвичайно високий»;

— функція належності  $\mu_X(u)$  у вигляді дзвоноподібної гаусової функції:

$$\mu_X(u) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{u - m_X}{\sigma_X} \right)^2 \right], \quad (3)$$

де параметр  $m_X$  — це значення універсальної множини  $U^*$ , заданої виразом (1), взяті у тому ж порядку, а  $\sigma_X$  — параметр, що характеризує розкид значень.

Експертне оцінювання значень параметрів річок полягає у виборі експертом значення з терм-множини (2), яке, на його думку, найкраще відповідає об'єкту оцінювання та його стану. Можна використовувати і складні терми, які отримуються шляхом застосування операторів над термами: «та», «або», «не», «дуже», «більш-менш» (ширина річки «більш-менш мала» чи «дуже мала або мала»), або шляхом використання відносних термів «більше» чи «більше, ніж» та «менше» чи «менше, ніж» (глибина річки «більше малої та менше середньої»), або використання відсотків від інших значень, наприклад: «Середня ширина річки у гирлі на 40 % більша за її ширину у середній течії» у той час, як ширина річки у середній течії була класифікована як «Середня».

Врахування ваги коректності оцінок, обумовлену рівнем фаху та досвіду експертів, варто робити через параметр  $\sigma_X$  у виразі для ФН (3). Чим експертна оцінка вагоміша, тим  $\sigma_X$  менше, а ФН має стис-

ненішу по ширині (взьку) форму, а чим експертна оцінка менш вагома, тим  $\sigma_x$  більше, а ФН має розтягнутішу по ширині (широку) форму.

Додатково пропонується ввести ще й поняття «Впевненості» експерта у своїй оцінці. Він може бути досвідченим, але відчувати, що ту чи іншу оцінку дати точно не в змозі (давно не був на тій річці, або був, але нижче по течії чи не в той період року). Експерт може зменшити вагомність своєї оцінки, задавши низький рівень впевненості і тоді більшу значущість набудуть оцінки інших експертів, оцінки яких можуть мати меншу вагомність, але вони були на тій річці недавно і в той період, що оцінюється, та можуть зробити об'єктивнішу оцінку її параметрів. Математично, «Впевненість» варто враховувати як певну корекцію (наприклад, множення на коефіцієнт від 0,8 до 1,2) значення  $\sigma_x$ , яке було розраховано у відповідності до вагомності оцінок експерта.

Метод експертного оцінювання із синхронізацією інтервалів значень був використаний на практиці для ідентифікації параметрів річок Вінницької області.

#### 4. Ідентифікація параметрів річок Вінницької області за допомогою методу експертного оцінювання із синхронізацією інтервалів значень

Для апробації розробленого математичного апарату та запропонованих підходів спільно із керівництвом Вінницького облводгоспу (ВінОВГ) було обрано ділянку Бершадського управління комплексного використання водних ресурсів (КВВР) ВінОВГ, як найменш забезпечену паспортами річок серед управлінь області.

Зокрема, було вибрано малі річки басейну річок Удич, Дохна і Савранка.

В експерименті взяли участь 4 експерти — 3 гідролога і 1 еколог-фахівець з геоінформаційних технологій, зокрема:

Експерт № 1 — має вищу освіту за фахом «гідролог», у галузі використання, управління та охорони водних ресурсів працює 30 років, з яких курирує Бершадський регіон Вінницької області — 20 років.

Експерт № 2 — має вищу освіту за фахом «гідролог», у галузі використання, управління та охорони водних ресурсів працює 34 роки — усі у Бершадському регіоні.

Експерт № 3 — має вищу освіту за фахом «гідролог», у галузі використання, управління та охорони водних ресурсів працює 3 роки — усі у Бершадському регіоні.

Експерт № 4 — бакалавр екології, займається науковими дослідженнями у галузі використання, управління та охорони водних ресурсів вже 4 роки; є фахівцем з використання геоінформаційних технологій та математичної обробки даних у галузі екологічного моніторингу.

Для проведення оцінювання був розроблений пакет документів у вигляді трьох форм:

Форма № 1 «Інформація про експерта з ідентифікації паспортних даних водотоків на основі власного досвіду»: містить анкетні дані про експерта, які дозволяють визначити вагомність його оцінок.

Форма № 2. «Приблизні межі оцінок експерта водотоків регіону (інтервали значень паспортних даних на основі власного досвіду)».

Форма № 3. «Експертна оцінка паспортних даних». Більшість оцінок — це параметри, усереднені за характерні періоди (пори) року: «Максимальний стік весняної повені», «Максимальний стік дощових паводків», «Літньо-осіння межень», «Зимова межень».

Опишемо алгоритм ідентифікації параметрів річок на основі даних форм.

І. *Встановлення вагомності оцінок експертів за формою № 1.*

Оскільки кожний експерт за кожним параметром форми № 1 характеризується тільки одним значенням, було прийнято рішення не застосовувати для обробки цих даних теорію нечітких множин, а просто побудувати рейтинг експертів за різними критеріями і, перейшовши до відносних величин, визначити  $\sigma_x$  для ФН у вигляді (3).

Критеріями вибрано такі сім пунктів форми № 1:

— рівень освіти з точки зору вміння розуміти як застосовувати оригінальні та відомі методики: «вища» — 5, «середня проф.-технічна» — 2, «середня» — 1;

— фах за освітою з точки зору вміння проводити експертне обстеження гідрологічних параметрів річок: «гідролог» — 5, «метеоролог» — 4, «еколог» — 3, «інженер» — 2, «біолог» — 1;

— стаж роботи в галузі використання, управління та охорони водних ресурсів =  $1 + ((\text{кількість років})/10 \text{ з округленням до більшого})$ , якщо експерт ще не працював у цій галузі на практиці, тоді стаж = 0;

- стаж такої роботи в досліджуваному регіоні =  $1 + ((\text{кількість років})/10 \text{ з округленням до більшого})$ , якщо експерт ще не працював у цій галузі на практиці, тоді стаж = 0;
- чи брав участь в польових обстеженнях з метою ідентифікації паспортних даних річок: «так» — 3, «ні» — 0;
- скільки разів на місяць останнім часом здійснюються виїзди на водотоки досліджуваного регіону: «менше 0» — 0, [1,4) — 1, [4, 7) — 2, «більше 7» — 3;
- чи знайомий з усіма параметрами, що визначаються, та відомими методиками їх розрахунку: «так» — 2, «ні» — 0.

У відповідності до цього алгоритму максимальне значення рейтингу експертів дорівнює  $K_{max e} = 28$ .

Алгоритм розрахунку такий:

1. Для кожного експерта по кожному критерію форми № 1 визначається деяке число  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 7$ ).
2. Знаходиться їх сума  $K_e$ .
3. Визначається відносне значення  $w_e = K_e / K_{max e} = K_e / 28$ .
4. Задається діапазон допустимих значень параметра  $\sigma_X$  для ФН у вигляді (3):  $\sigma_X = [\sigma_{min X}; \sigma_{max X}]$ . Пропонується  $\sigma_X = [0,05; 0,30]$ .
5. Обчислюється параметр  $\sigma_X$  у відповідності до рейтингу вагомості оцінок експерта за формулою:

$$\sigma_X = \sigma_{max X} - K_e \frac{\sigma_{max X} - \sigma_{min X}}{K_{max e}}$$

У табл. 1 наведено результати розрахунку рейтингу та параметра  $\sigma_X$  у відповідності до цього алгоритму та даних форм № 1.

Таблиця 1

Рейтинг експертів за фахом і стажем та значення параметра  $\sigma_X$  для них

Експерт	Рейтинг	Параметр $\sigma_X$
№ 1	23	0,095
№ 2	26	0,068
№ 3	20	0,121
№ 4	12	0,193

II. Алгоритм формування множин значень параметрів за формою № 2.

Інформація форми № 2 дозволяє провести перехід від оцінок на універсальній множині (1) до реальних значень параметра. Для цього слід сформуванню множини  $X$  значень параметра, яка б відповідала множині (1). Множина  $U$  (1) — це, фактично, множина відносних значень параметра від мінімального до максимального. Зокрема множині  $U$  з  $N = 9$  значеннями

$$U = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_9] = [0,1 \ 0,2 \ \dots \ 0,9] \tag{4}$$

відповідає множини  $X$  значень параметра з кроком  $\Delta X$ :

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N] = [X_{min} + \Delta X \ X_{min} + 2\Delta X \ \dots \ X_{min} + N\Delta X], \tag{5}$$

де

$$\Delta X = \frac{X_{max} - X_{min}}{N + 1}$$

Отже, має місце відповідність

$$u_j = \frac{x_j - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} = \frac{X_{min} + j \cdot \Delta X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} = \frac{j \cdot \Delta X}{X_{max} - X_{min}} = \frac{j}{N + 1}, \quad j = \overline{1, N}, \tag{6}$$

$$x_j = X_{min} + u_j (X_{max} - X_{min}), \quad j = \overline{1, N}. \tag{7}$$

Форма № 2 містить значення  $X_{min ei}$  та  $X_{max ei}$  по кожному параметру, який оцінює  $i$ -й експерт. Отже, можна легко встановити значення множини  $X_{ei}$  за їх відносними значеннями із множини (4). У той же час, виникає проблема порівняння оцінок різних експертів, які робляться на різних множинах  $U_{ei}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_e$ ). Для її розв'язання пропонуємо такий алгоритм:

1. Для кожного  $i$ -го експерта та заданого параметра формується експертна множина значень параметра  $X_{ei}$  (5) у відповідності з (7):

$$X_{eij} = X_{\min ei} + u_{eij}(X_{\max ei} - X_{\min ei}), \quad i = \overline{1, N_e}, \quad j = \overline{1, 9}. \quad (8)$$

2. Формується узагальнена множина значень параметра (УМЗП)  $X$

$$X = [X_{e1}, X_{e2}, \dots, X_{eN_e}]. \quad (9)$$

3. Визначаються значення  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$ , які є, відповідно, найменшим та найбільшим значенням серед усіх множин  $X_{ei}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_e$ ).

4. Формується узагальнена універсальна множина (УУМ)  $U$  по множині (9) на основі співвідношення, подібного до (6), але для  $i = 1, 2, \dots, N_e$ .

5. На сформованій УУМ  $U$  будуються функції належностей усіх термів для кожного експерта. На цій же множині проводиться дефазифікація значень та обчислення підсумкової оцінки параметра.

Під час використання множини (9) головною проблемою стане різний крок  $\Delta x_i$  у різних множинах  $X_{ei}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_e$ ). А отже, виникне складність у визначенні функцій належності для кожного експерта на цій УУМ із змінним кроком. Пояснимо це на прикладі.

Наприклад, є три множини параметра  $X_{e1}$ ,  $X_{e2}$  та  $X_{e3}$ . Для простоти будемо оперувати трьома значеннями в цих множинах:

$$X_{e1} = [0,10 \ 0,20 \ 0,30], \quad X_{e2} = [10,0 \ 20,0 \ 30,0], \quad X_{e3} = [0,15 \ 20,15 \ 40,15].$$

У відповідності з (9):  $X = [0,10 \ 0,15 \ 0,20 \ 0,30 \ 10,0 \ 20,0 \ 20,15 \ 30,0 \ 40,15]$ .

Через різний крок, який набуває значення від 0,05 до 10,15, важко точно провести формування функцій належностей та виконання над ними операцій. Для уникнення зазначених проблем пропонується замість узагальненої множини значень параметра  $X$  використовувати її наближений варіант  $X^*$  з фіксованим кроком  $\Delta x$  між значеннями множини, як і у множині (1). Відповідно слід перевизначити множини  $X_{ei}$  таким чином, щоб їх значення стали кратними кроку  $\Delta x$ . Такий підхід, звичайно, вносить певну похибку в оцінку, однак, у разі вибору досить малого кроку  $\Delta x$  ця похибка буде незначною.

Оскільки під час паспортизації річок усі величини визначаються, як правило, з точністю до сотих долей, а то й до десятих, крок  $\Delta x$  був вибраний на рівні 1/999 від інтервалу між мінімальним та максимальним значеннями  $X$ , що забезпечило високу точність при переході від УМЗП  $X$  до її наближеного варіанта  $X^*$ .

Вдосконалений алгоритм формування множин значень набуває вигляду:

1. Для кожного  $i$ -го експерта та заданого параметра формується експертна множина значень параметра (ЕМЗП)  $X_{ei}$  (5) у відповідності з (8).

2. Визначаються значення  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$ , які є, відповідно, найменшим та найбільшим значенням серед усіх множин  $X_{ei}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_e$ ).

3. Обчислюється крок  $\Delta x = (X_{\max} - X_{\min}) / (N_X + 1)$ , де береться  $N_X = 999$ .

4. Генерується наближена УМЗП  $X^*$ :  $X^* = [X_{\min}, X_{\min} + \Delta x, X_{\min} + 2\Delta x, \dots, X_{\max}]$ .

5. Перевизначаються усі експертні множини значень параметра  $X_{ei}$  на  $X_{ei}^*$  таким чином, щоб їх значення стали кратними кроку  $\Delta x$ . При цьому, на відміну від наближеної УМЗП  $X^*$ , експертні множини  $X_{ei}^*$  містять по дев'ять значень у відповідності до кількості термів. За значеннями експертних множин значень параметра  $X_{ei}^*$  розраховуються універсальні експертні множини  $U_{ei}^*$  у відповідності до співвідношення (6):

$$U_{ei}^* = [m_{ei1}^*, m_{ei2}^*, \dots, m_{ei9}^*], \quad i = \overline{1, N_e}. \quad (10)$$

6. Формується узагальнена універсальна множина (УУМ)  $U$  по множині (9) на основі співвідношення, подібного до (6), але для  $j = 1, 2, \dots, 999$  у вигляді

$$U = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_{999}] = [0,001 \ 0,002 \ \dots \ 0,999].$$

7. На сформованій УУМ  $U$  будуються функції належностей усіх термів для кожного експерта. На цій же множині проводиться дефазифікація значень та обчислення підсумкової оцінки параметра.

III. *Формування функцій належності (ФН)* для термів універсальних множин експертів та єдиної узагальненої універсальної множини за формою № 2 та по параметра «Впевненість» із форми № 3 біля заданих оцінок експертів.

Перед формуванням ФН слід спочатку з'ясувати з якою впевненістю  $v_{ei}$  експерти робили свої оцінки у формі № 3 і відповідно налагодити параметри ФН, обчисливши параметр  $\sigma_{Xi}^*$ , котрий має використовуватись замість  $\sigma_{Xi}$  ( $i = \overline{1, N_e}$ ).

Впевненість пропонується оцінювати теж за терм-множиною значень (2) і теж, призначивши відповідність термам (2) та числам  $r$  від 1 до 9:

$$\begin{aligned} \text{«НМ»} &— r = 1, \text{«ДМ»} &— r = 2, \text{«М»} &— r = 3, \text{«МС»} &— r = 4, \text{«С»} &— r = 5, \\ \text{«ВС»} &— r = 6, \text{«В»} &— r = 7, \text{«ДВ»} &— r = 8, \text{«НВ»} &— r = 9. \end{aligned} \quad (11)$$

Значення  $v_{ei}$  пропонується визначати за формулою

$$v_{ei} = 1 + (5 - r) 0,05, \quad (12)$$

тобто, в залежності від рівня впевненості, значення  $v_{ei}$  буде коливатись в діапазоні від 0,8 до 1,2.

При цьому слід врахувати дві особливості:

1) усім оцінкам, зробленим експертом з ГІС-технологій, а не гідрологом, пропонується присвоювати «Впевненість» на рівні «Мала»;

2) якщо експерт-гідролог з певних причин не вказав свою «Впевненість» у своїй оцінці, тоді встановлювати її на рівні «Середня».

Провівши такі розрахунки, слід обчислити

$$\sigma_{Xi}^* = v_{ei} \cdot \sigma_{Xi}, \quad i = \overline{1, N_e}. \quad (13)$$

Певна складність є і у формуванні функцій належності для оцінок експертів на НУУМ  $U^*$ . З одного боку ФН у вигляді (3) розрахована на значення аргументу із множини (4), які змінюються від 0,1 до 0,9, з іншого боку повинна бути можливість їх зіставлення на НУУМ  $U^*$ , де значення варіюються від 0,001 до 0,999. В той час як зіставлення зручно робити на множинах  $X_{ei}^*$  (див. приклад вище). Виходячи з цього, пропонується обчислювати функції належності для оцінок експертів по значеннях множин  $X_{ei}^*$ , перераховуючи їх значення у відповідні їм значення множин (10)  $U_{ei}^*$  у відповідності до співвідношення (6), яке у позначеннях (10) елементів множини  $U_{ei}^*$  набуває вигляду

$$m_{eij}^* = \frac{X_{eij}^* - X_{\min ei}}{X_{\max ei} - X_{\min ei}}, \quad i = \overline{1, N_e}, \quad j = \overline{1, 9}. \quad (14)$$

З урахуванням (14), вираз (3) для ФН  $\mu_{eij}$  для  $j$ -го терма для  $i$ -го експерта у  $k$ -му значенні НУУМ  $u_k^*$  набуває вигляду

$$\begin{aligned} \mu_{eij}(u_k^*) &= \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{u_k^* - m_{eij}^*}{\sigma_{Xi}^* (X_{e\max i} - X_{e\min i})} \right)^2 \right], \\ u_k^* &= 0,001k, \quad k = \overline{0, N_X}, \quad i = \overline{1, N_e}, \quad j = \overline{1, 9}. \end{aligned} \quad (15)$$

Такий чином, алгоритм розрахунку функцій належності має вигляд:

1. Встановлюється значення параметра «Впевненість» у формі № 3 експертів та із виразів (11) відповідне йому значення  $r$ .

2. Визначається коефіцієнт  $v_{ei}$  за формулою (12).

3. За формулою (13) обчислюється параметр  $\sigma_{Xi}^*$  функцій належності  $i$ -го експерта, котрий має використовуватись замість  $\sigma_{Xi}$  ( $i = \overline{1, N_e}$ ).

4. За формулою (15) розраховуються усі ФН  $\mu_{eij}$  для  $j$ -го терма для  $i$ -го експерта у  $k$ -му значенні НУУМ  $u_k^*$  ( $k = \overline{0, N_X}, i = \overline{1, N_e}, j = \overline{1, 9}$ ).

#### IV. Беспосереднє оцінювання заданого параметра.

Після проведення підготовчої процедури, тобто проходження етапів I–III, алгоритм оцінювання параметра має вигляд:

1. За формою № 3 встановлюються експертні оцінки  $y_{eg}$  ( $g = 1, 2, \dots, N_e$ ).

2. Для кожної оцінки ставиться у відповідність обчислена за виразом (15) ФН  $\mu_{eij}$  для  $i$ -го експерта.

3. Виконується операція перетину отриманих у п. 2 функцій належності, тобто обчислюються значення

$$\mu(u_k) = \sup_{U^*}(\mu_{eig}(u_k)), \quad k = \overline{0, N_X}, \quad g = 1, \dots, N_e. \quad (16)$$

4. Проводиться дефазифікація ФН  $\mu(u_k)$  (16), обчисленої у п. 3, за формулою [3, 4]:

$$C = \frac{\sum_{k=1}^{N_X} u_k \cdot \mu(u_k)}{\sum_{i=1}^{N_X} \mu(u_k)}.$$

5. По значенню параметра  $C$  у відносних одиницях обчислюється значення параметра в абсолютних одиницях за формулою (7)

$$X = X_{\min} + C(X_{\max} - X_{\min}).$$

Задача розв'язана.

На основі розробленого математичного та алгоритмічного забезпечення автором створено програму для проведення автоматизованого оцінювання паспортних даних річок по їх експертних оцінках, введених в базу даних в середовищі MS Access 2000/XP/2003. Програма формує і проміжні результати у форматі, який можна експортувати в пакет Mathcad Professional для додаткового аналізу та вивчення.

Наведемо декілька прикладів для оцінювання параметрів малих річок Вінницької області: Гирло річки Удич. Період «Максимальний стік весняної повені». Результат ідентифікації:

- 1) ширина річки — від 15,55 м до 19,2 м (рис. 1);
- 2) глибина річки — від 1,94 м до 2,24 м (рис. 2);

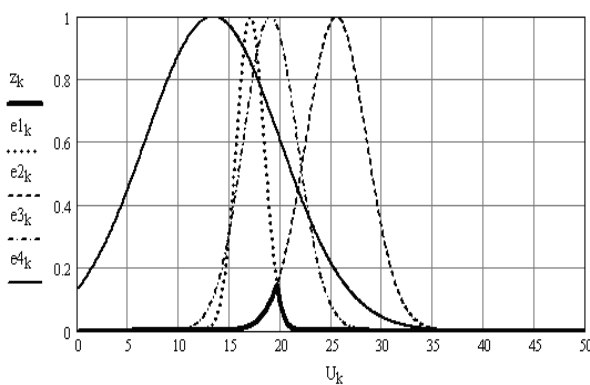


Рис. 1. Графік ФН оцінок експертів на УУМ для максимальної ширини р. Удич в гирлі

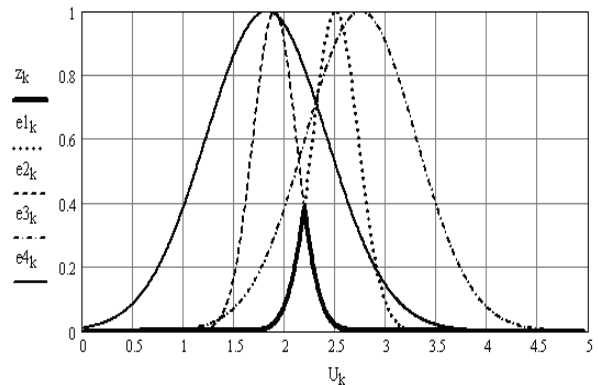


Рис. 2. Графік ФН оцінок експертів на УУМ для максимальної глибини р. Удич в гирлі

Оскільки для басейну малої річки Дохна та її приток є паспорт (1995 року), то викликає зацікавлення порівняння параметрів річок, які ідентифіковані запропонованим методом на основі проведенного експертного оцінювання і даних паспорту (табл. 2).

Слід зазначити, що не з усіма паспортними даними можна проводити порівняння — в паспорті р. Дохна є ширина річки тільки найменша за рік, а не середня за піврічний меженний період, а з максимальними значеннями замуленості визначились не всі експерти.

Таблиця 2

Паспортні дані («П») та знайдені експертні оцінки («О») параметрів малих річок Вінницької області

Період оцінювання		Протягом року					В літньо-осінню межень		В дощові паводки	
Назва річки	Тип	$H_{mi}$ <i>n</i>	$H_{ma}$ <i>x</i>	$M_{mi}$ <i>n</i>	$L_{min}$	$L_{ma}$ <i>x</i>	$V_{min}$	$V_{max}$	$V_{min}$	$V_{max}$
Берладинка	П	0,5	1	0,3	0,3	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4
	О	0,7 8	0,9 6	0,1 9	0,3	0,4	0,15	0,20	0,3 0	0,3 6
Велика Вільшанка	П	0,3	0,5	0,1	0,1 5	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4
	О	0,2 6	0,4 3	0,1 2	0,2 9	0,3 6	0,06	0,10	0,2 2	0,2 6

Війтівка	П	0,3	0,5	0,1	0,2	$\frac{0,3}{5}$	0,1	0,2	0,3	0,4
	О	0,4	$\frac{0,5}{9}$	$\frac{0,1}{2}$	$\frac{0,2}{6}$	$\frac{0,3}{6}$	0,10	0,15	$\frac{0,2}{5}$	$\frac{0,3}{0}$

Аналіз табл. 2 дозволяє зробити такі висновки:

1. Майже в усіх випадках має місце подібність результатів на рівні похибки в 0—50 % (окрім  $H_{min}$  для р. Берладинка і  $L_{min}$  для р. Вел. Вільшанка).

2. Середні значення інтервалів, за винятком швидкості течії р. Вел. Вільшанка в межень, збігаються з похибкою 5—37 % (для оцінки  $H$  р. Берладинка похибка становить 16 %, а для  $L$  для р. Вел. Вільшанка — 18 %).

3. Значення експертних оцінок параметрів краще враховують специфіку річок і майже усі є різними, в той час, як значення паспортних даних табл. 2 для малих річок Велика Вільшанка та Війтівка, за винятком товщини льоду, є повністю однаковими, що викликає сумніви щодо їх адекватності.

Підвищити точність оцінювання можна шляхом залучення більшої кількості експертів.

Таким чином, метод синхронізації інтервалів значень дав задовільні результати і його можна використовувати на практиці для збирання чи уточнення паспортних даних річок, використовуючи вже ту інформацію, що наявна, що дасть великий економічний та соціальний ефект.

### Висновки

Розглянута задача ідентифікації основних параметрів (паспортних характеристик) малих річок на основі теорії нечітких множин, які є необхідними для проведення математичного моделювання процесів у річках. Запропоновано два нових методи: метод «один об'єкт — один експерт», і метод синхронізації інтервалів значень, коли кожен експерт проводить оцінювання на своєму інтервалі значень. Розроблено алгоритми усунення суб'єктивізму експертів та врахування їх фаху та досвіду. Наведено результати апробації методу синхронізації інтервалів значень для експертного оцінювання параметрів малих річок Вінницької області.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новий підхід до розробки моделі процесів змішування стічних вод із річковими на основі теорії нечітких множин / В. Б. Мокін // Вісник ВПІ. — № 6. — 2003. — С. 180—186.
2. Ідентифікація параметрів малих річок на основі теорії нечітких множин по експертних оцінках та по їх геоінформаційній моделі / В. Б. Мокін // Вісник ЖДТУ. — 2004. — С. 133—142.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 168 с.
4. Митюшкин Ю. И., Мокін Б. И., Ротштейн А. П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — 145 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації

Надійшла до редакції 22.06.05.  
Рекомендована до друку 30.06.05.

**Мокін Віталій Борисович** — завідувач кафедри моделювання і моніторингу складних систем.

Вінницький національний технічний університет