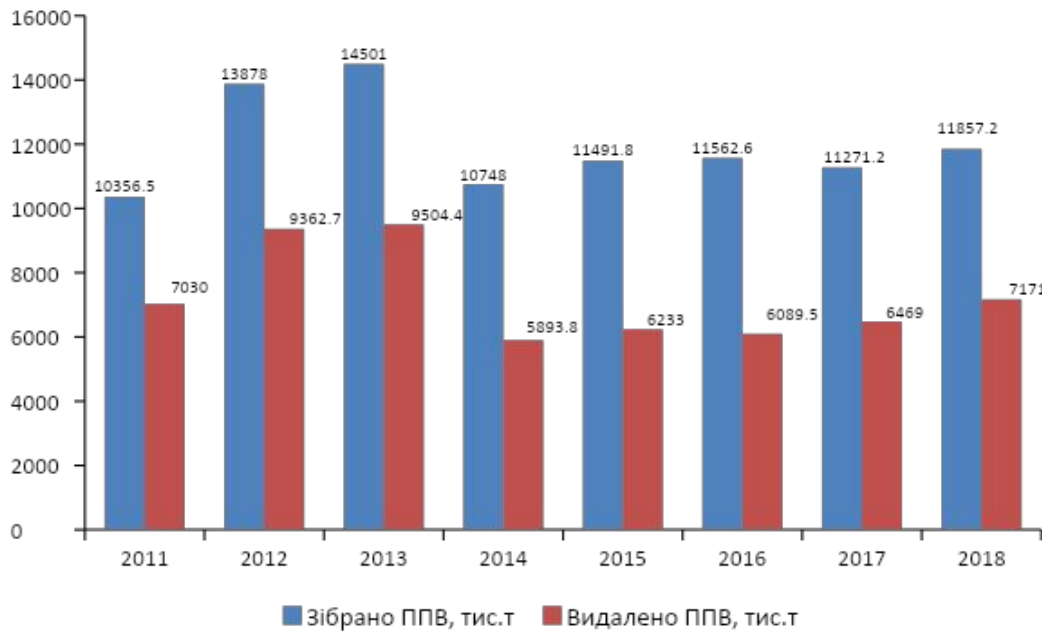


# НЕЧІТКІ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РІШЕНЬ ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

---

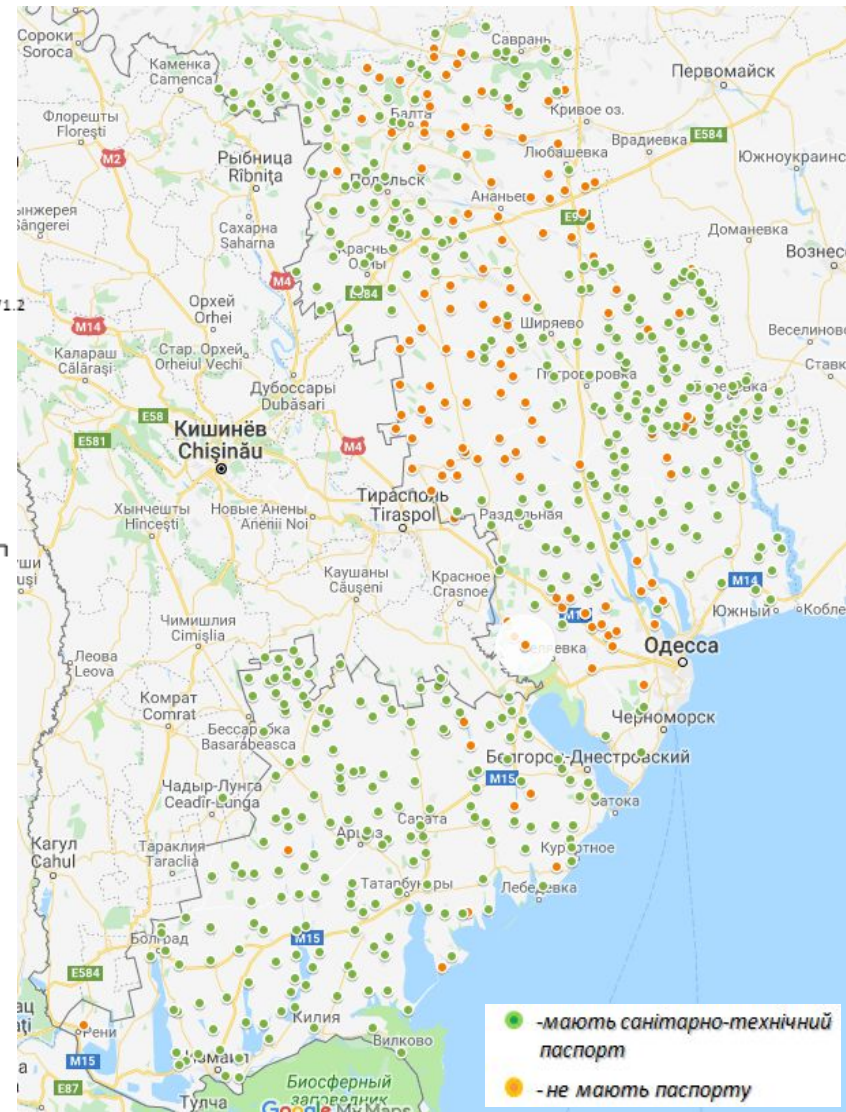
БУЧИНСЬКА ІРИНА ВІКТОРІВНА

# АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ



*Динаміка утворення побутових відходів в Україні за роками*

*Розпорядження КМУ від 8.11.17 р. № 820-р  
Про схвалення Національної стратегії  
управління відходами в Україні до 2030 року*



*Розташування полігонів і звалищ на території Одеської області у 2018*

## НАУКОВЕ

### ЗАВДАННЯ:

*розробка моделей обробки геопросторової інформації та удосконалення методів багатокритеріального аналізу рішень (БКАР) по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів (ТПВ) з застосуванням теорії нечітких множин та інформаційних технологій, які дозволять враховувати невизначеності, пов'язані з процесом прийняття рішень, і можуть бути інтегровані в середовище ГІС*

## РЕЗУЛЬТАТ РІШЕННЯ НАУКОВОГО

### ЗАВДАННЯ:

*підвищення ефективності, обґрунтованості та об'єктивності процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ*

## ЗВ'ЯЗОК З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ

*«Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 року №820-р*

*розділ 1, п.п. 30,31, 36 та 37 «Національного плану управління відходами до 2030 року», схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.02.2019 року №117-р*

*п.п. 1.2.3.4, 1.2.3.7, 1.2.10.1 та 1.2.11.2 «Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук», які визначені постановою Президії НАН України від 30.01.2019 року №30*

*НДР «Вдосконалення методів інформаційних технологій з метою їх використання в дослідженні об'єктів довкілля та у процесі підготовки фахівців», яка виконувалася Одеським державним екологічним університетом з 2013 по 2018 рр., держ. реєстр. №0114U000627*

*НДР «Геоінформаційні і інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень в задачах оцінки та прогнозування екологічної безпеки територій», яка виконується Одеським державним екологічним університетом з 2019 року, держ. реєстр. **№0114U000627***

## МЕТА

## ДОСЛІДЖЕННЯ

додати ефективності процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ за рахунок розробки та інтеграції моделей багатокритеріального аналізу рішень та обробки геопросторової інформації про об'єкти ТПВ з використанням апарату теорії нечітких множин та методів геоінформаційного аналізу

## ДОСЯГНЕННЯ МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ надає

### можливостей:

- створення комплексних карт ранжування територій за ступенем придатності для розміщення об'єктів ТПВ;
- забезпечення обґрунтованості процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ завдяки формалізації експертних знань та нечіткої інформації про допустиму для ОПР стратегії прийняття рішень.

## ЧАСТКОВІ НАУКОВІ ЗАВДАННЯ

- 1. Проведення аналізу сучасного стану проблем та підходів до розміщення об'єктів ТПВ;*
- 2. Розроблення ГІС-орієнтованої моделі БКАР по розміщенню об'єктів ТПВ, яка буде поєднувати обробку геопросторової інформації про об'єкти ТПВ з оцінками та судженнями експертів;*
- 3. Удосконалення моделі обробки різнорідної геопросторової інформації про розміщення об'єктів ТПВ на основі інтеграції методів геоінформаційного аналізу та апарату теорії нечітких множин;*
- 4. Удосконалення методів БКАР, а саме методів розрахунку ваг та агрегування критеріїв, які дозволять враховувати невизначеність в судженнях експертів відносно ступенів важливості критеріїв та допустимої стратегії прийняття рішень;*
- 5. Створення на основі розроблених моделей і методів інтелектуальної системи БКАР по розміщенню об'єктів ТПВ та проведення дослідження її ефективності.*

## ОБ'ЄКТ

### ДОСЛІДЖЕННЯ

*процес підтримки прийняття рішень по розміщенню об'єктів твердих побутових відходів*

## ПРЕДМЕТ

### ДОСЛІДЖЕННЯ

*нечіткі моделі, методи обробки геопросторової інформації та багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню твердих побутових відходів*

## МЕТОДИ

### ДОСЛІДЖЕНЬ

- методи геоінформаційного аналізу та просторового моделювання;*
- методи теорії нечітких множин;*
- технології реляційних баз даних;*
- теорія прийняття рішень;*
- методи об'єктно-орієнтованого програмування, засоби сучасних комп'ютерних технологій;*
- методи системного аналізу*

## СТРУКТУРА РОБОТИ

- Вступ
- 4 розділи з висновками
- Загальний висновок до роботи
- Список використаних літературних джерел
- 4 додатки

## ОБСЯГ РОБОТИ

Загальний обсяг — 192 сторінок, з них:

- 179 сторінок основного тексту, що містять:
  - 22 таблиці та 69 рисунків  
(з них 23 – на окремих сторінках)
- список літературних джерел з 173 найменувань на 17 сторінках
- 4 додатки на 28 сторінках



# ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПОВЛЮЩЕННЯ З ТПВ



---> Інформаційний потік  
——> Вплив

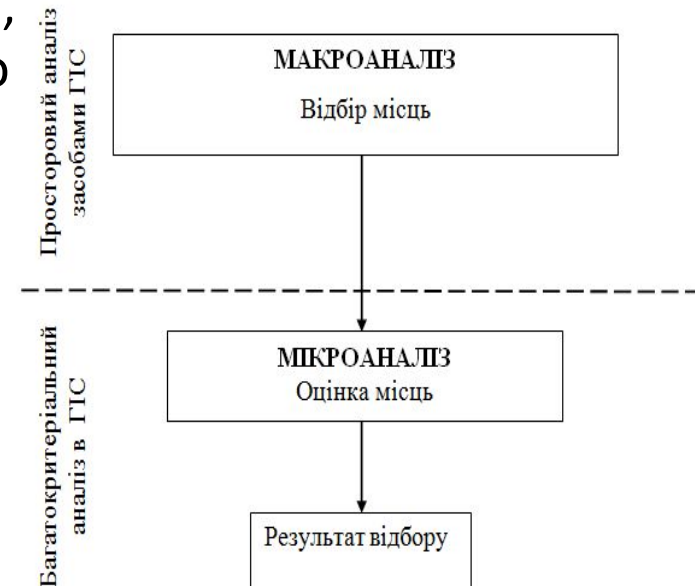
# ДВОХЕТАПНИЙ ПРОЦЕС ВІДБОРУ ПРИДАТНИХ МІСЦЬ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

**1) Етап макроаналізу:** вибір географічної зони, яка відповідає вимогам будівництва, як правило здійснюється за допомогою операцій геопросторового аналізу, які включають:

- *аналіз атрибутивних даних;*
- *аналіз поверхні (Surface Analysis);*
- *аналіз близькості (Proximity Analysis);*
- *аналіз накладення або оверлейний аналіз (Overlay Analysis).*

**2) Етап мікроаналізу:** оцінка та ранжування альтернатив з використанням методів БКАР:

- *MAVT, MAUT, ANP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS та ін.*
- врахуванням невизначеностей, пов'язаних з процесом прийняття рішень:
- *ступені відносної важливості (ваги) критеріїв;*
  - *допустимої для ОПР форми компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями.*



# НЕЧІТКА МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РІШЕНЬ

## ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

$$\langle A, C, F, P; D \rangle, \quad (11.1)$$

де  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  – множина альтернатив;  
 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  – множина критеріїв, за якими оцінюються альтернативи;

$F$  – процедура оцінювання важливості критеріїв;

$P$  – система переваг ОПР, що містить інформацію про оцінки альтернатив за кожним критерієм;

$D$  – вирішальне правило, яке задає процедуру виконання потрібної дії над множиною альтернатив.

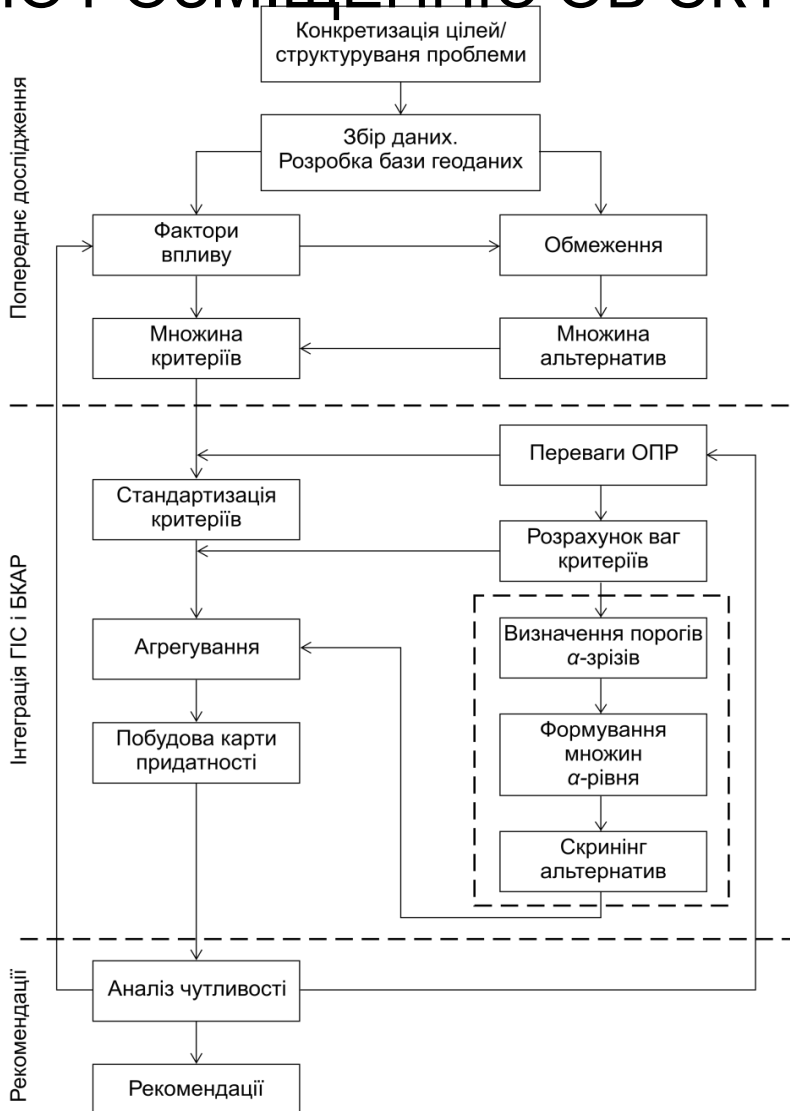
Множина альтернатив  $A$ , що оцінюються за критеріями  $C_j$ :

$$A = \{a_{ij} \mid i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}, \quad (11.2)$$

де  $a_{ij}$  – значення атрибуту альтернативи за  $j$ -им критерієм і за  $i$ -ою альтернативою;

$n$  – кількість критеріїв;

$m = m_x \cdot m_y$  – кількість альтернатив (комірок растру).



Альтернативи	Просторові координати		Критерії/атрибути $C_j$			
	$X_i$	$Y_i$	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$
$A_1$	$x_1$	$y_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$x_2$	$y_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
$A_3$	$x_3$	$y_3$	$a_{31}$	$a_{32}$	...	$a_{3n}$
...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$x_m$	$y_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$
Вага, $w_j$			$w_1$	$w_2$	...	$w_n$

Рис.11.1 – Модель ГІС-БКАР

# ДЕКОМПОЗИЦІЯ МНОЖИНИ ОБ'ЄКТІВ В ТЕМАТИЧНІ ШАРИ

## КРИТЕРІЇВ

$$O = \{o_i\} = \left\{ \left( G, \{A_j\} \right)_i \right\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (12.1)$$

де  $G$  – інформація щодо просторового положення об'єкту;  $A$  – атрибутивна інформація про об'єкт;  
 $n$  – кількість об'єктів;  $m$  – кількість атрибутів об'єкта.

$$O = \bigotimes_{j=1}^T O_j, \quad (12.2)$$

$$S = \langle G, A \rangle, \quad (12.3)$$

•множина геометричних властивостей:  $G = \{g_p, g_l, g_{pol}\}$ ,

де  $g_p$  – точкові об'єкти;  $g_l$  – лінійні об'єкти;  $g_{pol}$  – полігональні об'єкти;

•множина атрибутивних властивостей  $A = \{Q, N\}$ ,

де  $Q$  – множина якісних властивостей, яка визначає приналежність об'єкту до певної тематичної групи;

$N$  – множина кількісних характеристик властивостей об'єкту.

$$M = \{L_i\}, i = \overline{1, t}, \quad (12.4)$$

$$L_i = \{O_j^i\}, j = \overline{1, n}, \quad (12.5)$$

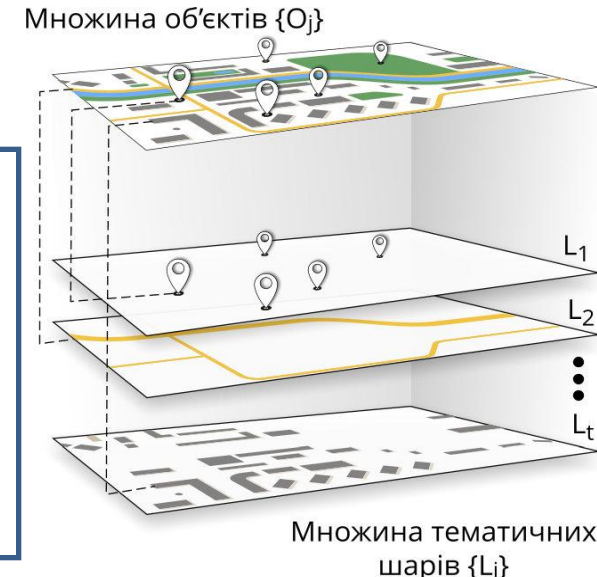
де  $i$  – номер шару карти  $M$ ,  $j$  – номер об'єкта в  $i$ -ому шарі.

$$L_p = \{O_i^p\} = \left\{ \left( ID, (x, y), \{A_j\} \right)_i \right\}, i = \overline{1, n}, \quad (12.6)$$

$$L_l = \{O_i^l\} = \left\{ \left( ID, \{(x, y)_k\}, \left( \bigotimes_{l=1}^{m_s} S_{l,l+1} \right), \{A_j\} \right)_i \right\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_A}, l = \overline{1, m_S} \quad (12.7)$$

$$L_{pol} = \{O_i^{pol}\} = \left\{ \left( ID, \{(x, y)_k\}, \left( \bigotimes_{l=1}^{m_s} S_{l,l+1} \right), \{A_j\} \right)_i \mid x_1 = x_{m_s+1}, y_1 = y_{m_s+1} \right\}, \quad (12.8)$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_A}, l = \overline{1, m_S}, k = \overline{1, m_p}$$



## ПРО РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТПВ. РАСТРУВАННЯ

Евклідова відстань між двома точковими об'єктами  $O_1(x_1, y_1)$  і  $O_2(x_2, y_2)$ :

$$d(O_1, O_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (13.1)$$

Векторний об'єкт  $O_j$  представляється набором комірок, кожна з яких має просторові координати і атрибут:

$$O_j = \{(a)_i\} = \{((x^j, y^j), v^j)_i\}, i = \overline{1, k} \quad (13.2)$$

де  $v$  – атрибут,  $k$  – кількість комірок, що покривають об'єкт  $O_j$ .

Відстань від будь-якої комірки растру  $a$  до об'єкту  $O_j$ :

$$ED(O_j, a) = \min_i \{d(O_j, a)_i\}, i = \overline{1, k} \quad (13.3)$$

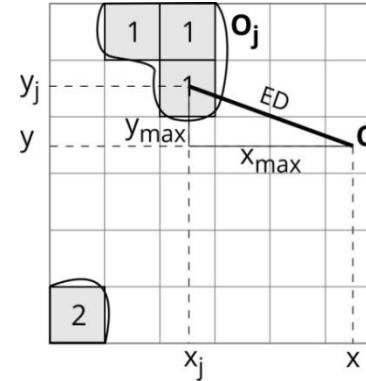
Растр відстаней  $R(ED)$  для  $j$ -го шару карти,:

$$R_j(ED) = \{((x^j, y^j), ED^j)_i\}, i = \overline{1, n \cdot m} \quad (13.4)$$

Множина альтернатив:

$$A = \{a_{ij} \mid i = \overline{1, n \cdot m}, j = \overline{1, t}\}, \quad (13.5)$$

де  $a_{ij}$  – значення атрибуту за  $j$ -им критерієм і за  $i$ -ою альтернативою.



$\rightarrow$   
 $R(ED)$

1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0
1.4	1.0	0.0	1.0	2.0	3.0
2.2	1.4	1.0	1.4	2.2	3.2
2.0	2.2	2.0	2.2	2.8	3.6
1.0	1.4	2.2	3.2	3.6	4.2
0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

### ПОБУДОВА РАСТРУ ОБМЕЖЕНЬ

$$a_i = \begin{cases} 1, & \text{if } a_i \in P \\ 0, & \text{if } a_i \notin P, i = \overline{1, n \cdot m} \end{cases} \quad (13.6)$$

де  $P$  – множина припустимих значень альтернатив.

Загальний обмежуючий шар  $K_c$ :

$$K_c = \prod_{r=1}^R K_r, R \subset T, \quad (13.7)$$

де  $K_r$  – растровий обмежуючий шар;

$R$  – множина тематичних растрових шарів, з яких будується загальний обмежуючий шар;

$T$  – загальна множина тематичних растрових шарів.

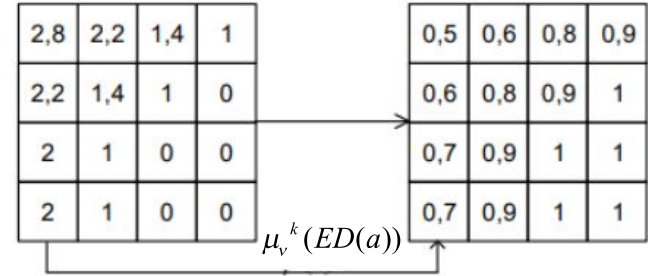
## ПРО РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ТПВ. ФАЗИФІКАЦІЯ

Перетворення значень атрибутів  $k$ -го шару у значення ступені належності до нечіткої множини  $\tilde{V}_k$ :

$$\tilde{V}_k = \{(a, \mu_v^k(a)) \mid a \in U\}, \mu_v^k(a) : a \rightarrow [0, 1] \quad (14.1)$$

де  $a$  – значення атрибуту,  $U$  – безперервна множина значень атрибутів.

Растр придатності для  $k$ -го критерію, кожна комірка якого містить значення функції належності  $\mu_v^k(a)$  для атрибуту комірки  $a$ .



$$R_k(\tilde{v}(a_i^k)) = \left\{ \left( (x_i^k, y_j^k), \mu_v^k(a_{ij}^k) \right) \right\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, t = \overline{1, t} \quad (14.2)$$

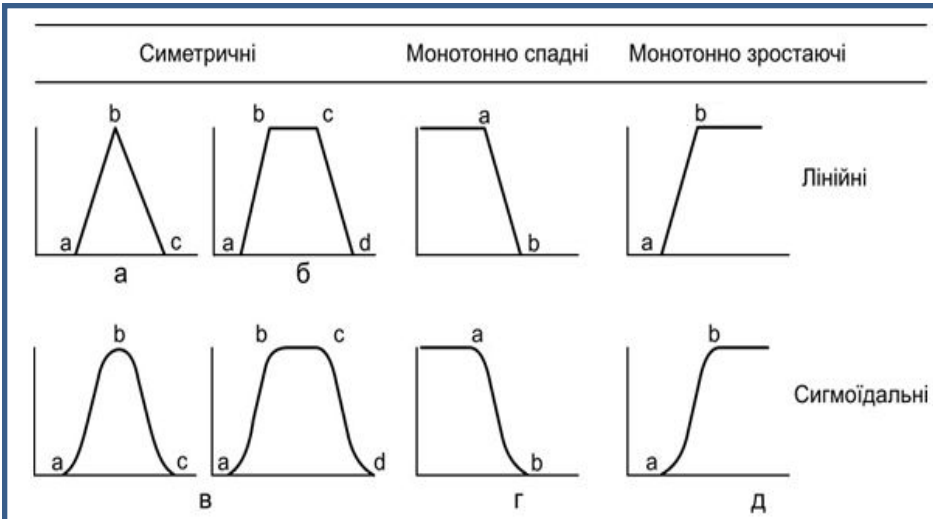


Рис.14.1 - Типи функцій належності, що можуть бути використані для стандартизації критеріїв:  
 а) – трикутна ФН; б) – трапецієподібна ФН;  
 в) – П-образна ФН; г) – Z-образні ФН; д) – S-образні ФН

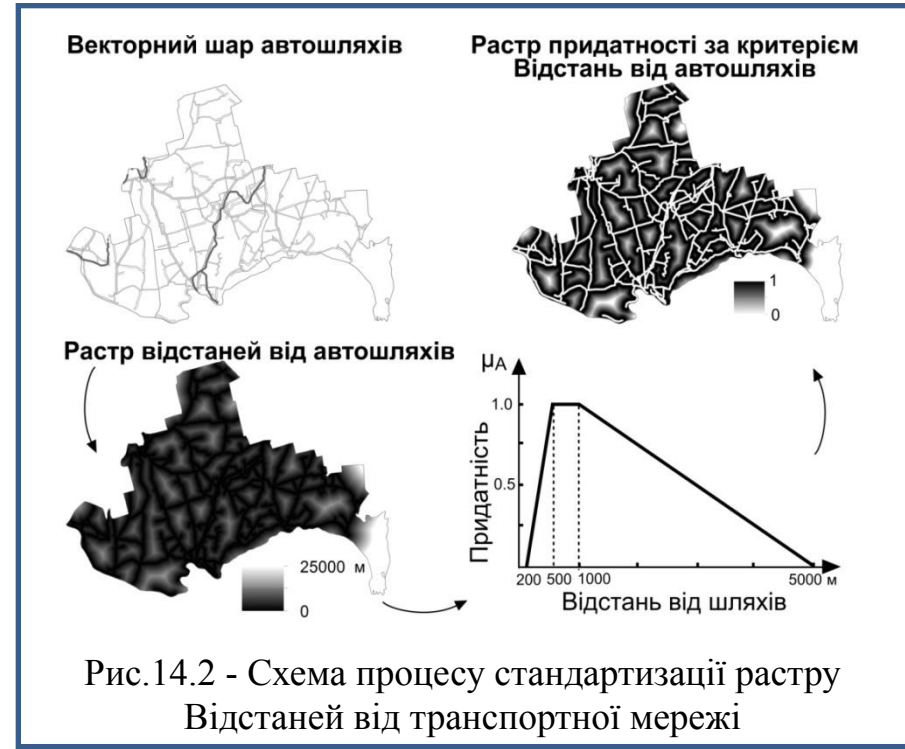


Рис.14.2 - Схема процесу стандартизації растру Відстаней від транспортної мережі



## НЕЧІТКА МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІєРАРХІЙ

лінійні змінні і відповідні нечіткі

1. Побудувати нечітку матрицю  $\tilde{A}$  за допомогою шкали з трикутними нечіткими числами:

$$(\tilde{A}^k) = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^k & \tilde{a}_{12}^k & \dots & \tilde{a}_{1n}^k \\ \tilde{a}_{21}^k & \tilde{a}_{22}^k & \dots & \tilde{a}_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1}^k & \tilde{a}_{n2}^k & \dots & \tilde{a}_{nn}^k \end{bmatrix}, \quad (15.1)$$

2. Для групи експертів оцінки усереднюються:

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K \tilde{a}_{ij}^k}{K}. \quad (15.2)$$

і матриця парних порівнянь приймає наступний вигляд:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix}. \quad (15.3)$$

3. Розрахувати нечіткі ваги кожного критерію:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i), \quad (15.4)$$

Шкала Сааті	Визначення	Числа	Нечітка трикутна шкала
1	відсутня перевага		(1, 1, 1)
3	слабка перевага		(2, 3, 4)
5	суттєва перевага		(4, 5, 6)
7	явна перевага		(6, 7, 8)
9	абсолютна перевага		(9, 9, 9)
2	проміжні значення між сусідніми значеннями шкали		(1, 2, 3)
4			(3, 4, 5)
6			(5, 6, 7)
8			(7, 8, 9)

$$\tilde{r}_i = \left( \prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{- середнє}$$

геометричне значень нечіткого порівняння кожного критерію

4. Виконати дефазифікацію нечіткої ваги:

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3},$$

де  $M_i$  – чітке число, яке потрібно нормалізувати:

$$w_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}. \quad (15.5)$$

## НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ МНОЖИНИ $\alpha$ -РІВНЯ

- Критерії  $C_j$  ранжуються за важливістю і нумеруються в порядку спадання ваг  $w_j$ .
- Задається поріг рівня  $\alpha_j$ , і будується множина  $\alpha$ -рівня виду:

$$A_j = \{a \mid a \in A_{j-1}, \mu_j(a) \geq \alpha_j\}, A_0 \equiv A, j \leq n. \quad (16.1)$$

Якщо на певному кроці  $j$   $A_j \equiv \emptyset$  (порожньо), то потрібно змінити поріг рівня  $\alpha_j$  або повернутися на крок раніше та змінити поріг рівня  $\alpha_{j-1}$ .

- Розрахунок повторюється до тих пір, поки на останній ітерації множина  $A_n$  не буде містити тільки придатні за оцінками альтернативи. ОПР може змінювати множину  $A_n$  шляхом варіювання ваг критеріїв  $w_j$  або порогів рівня  $\alpha_j$ .

Якщо критерії за важливістю рівнозначні, то для кожного критерію  $C_j$  розраховується окремо множина  $\alpha$ -рівня  $A_j$  за заданими порогоми  $\alpha_j$ , а далі будується множина виду:

$$A^* = \bigcap_{j=1}^n A_j. \quad (16.2)$$

Якщо  $A^* \equiv \emptyset$  (порожньо) або не задовольняє ОПР, тоді змінюються або всі пороги рівня  $\alpha_j$ , або деякі з них і повторюється  $j$ -й крок. В іншому випадку алгоритм закінчує роботу.

Для отриманої множини альтернатив  $A^*$  виконується згортка оцінок критеріїв.

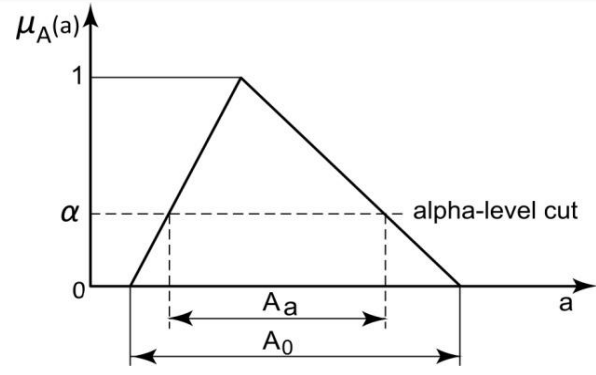
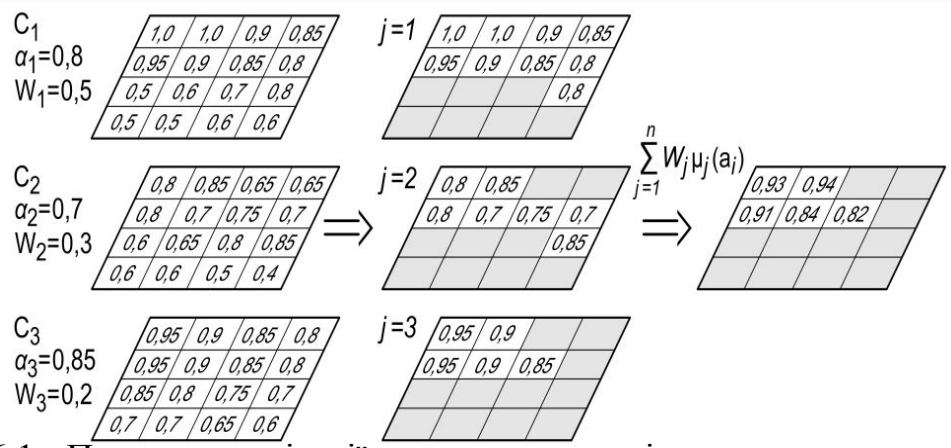


Рис. 16.1 - Приклад реалізації алгоритму скринінгу альтернатив для трьох критеріїв

Рис.16.2 - Приклад  $\alpha$ -зрізу для нечіткої множини  $A$



# ПОРІВНЯННЯ ОПЕРАТОРІВ

## АГРЕГУВАННЯ

Позначимо оператор агрегування критеріїв як  $\Phi(a_1, \dots, a_n)$ , де  $a_1, \dots, a_n$  – атрибути альтернативи за критеріями, що задаються експертами.

Властивість неспадання:

$$a_1 \leq a'_1, \dots, a_n \leq a'_n \Rightarrow \Phi(a_1, \dots, a_n) \leq \Phi(a'_1, \dots, a'_n). \quad (17.1)$$

Властивість ідемпотентності:

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n \Rightarrow \Phi(a_1, \dots, a_n) = a_1. \quad (17.2)$$

Некомпенсаційні оператори агрегування:

мінімум  $\Phi(a_1, \dots, a_n) = \min(a_1, \dots, a_n). \quad (17.3)$

максимум  $\Phi(a_1, \dots, a_n) = \max(a_1, \dots, a_n). \quad (17.4)$

Використання оператора мінімуму призводить до оцінювання альтернативи на основі лише найнижчого рангу, тобто є песимістичним підходом до прийняття рішення. Оператор максимуму враховує тільки кращі оцінки всіх критеріїв.

Оператор агрегування просте середнє арифметичне:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j \quad (17.5)$$

Має властивості неспадання та ідемпотентності, але не відображає відмінності в значущості окремих критеріїв і не може представити експертні переваги щодо бажаної залежності критеріїв.

Оператор агрегування зважена сума:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j a_j, \quad (17.6)$$

де  $w_j$  – вагові коефіцієнти критеріїв.

Володіє властивостями неспадання та ідемпотентності, але недоліком адитивних операторів агрегування є неможливість відобразити експертну інформацію про бажану допустиму форму компромісу між значеннями альтернатив за різними критеріями.

# ЕТАП МІКРОАНАЛІЗУ. МЕТОД АГРЕГУВАННЯ НА ОСНОВІ OWA ОПЕРАТОРА ЯГЕРА З НЕЧІТКИМИ КВАНТИФІКАТОРАМИ

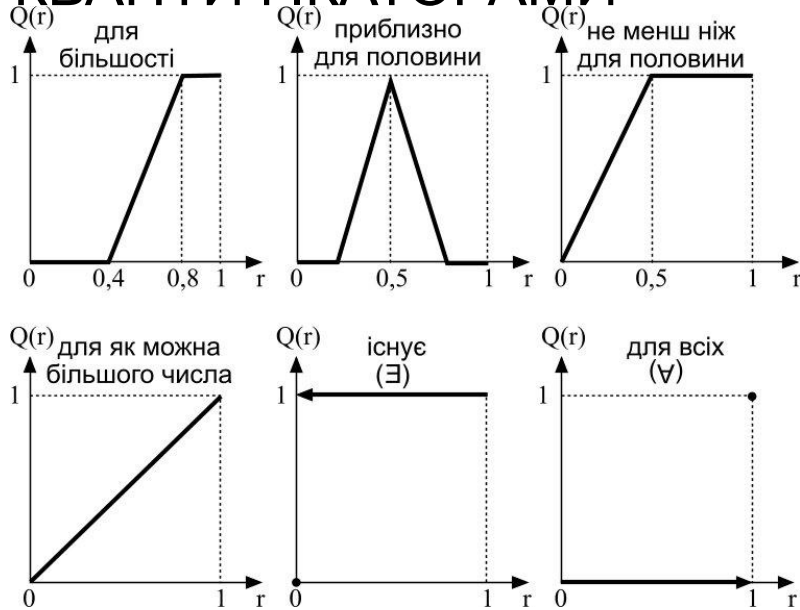


Рис.18.1 - Приклади функцій належності нечітких квантифікаторів

OWA оператора Ягера з НК :

$$V(a'_i) = \sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j b_{ij}. \quad (18.1)$$

де  $V(a'_i)$  – загальна оцінка  $i$ -ої альтернативи;  
 $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$  – елементи вектора  $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$   
впорядковані за зменшенням.

Вага порядку  $\tilde{\lambda}_j$  пов'язана з позицією елементів в упорядкованому за зменшенням векторі таким чином, що  $\tilde{\lambda}_1$  відповідає найбільшому значенню  $b_j$ , а  $\tilde{\lambda}_n$  – найменшому.

Якщо для критеріїв заданий набір ваг  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , вектор ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  задається у вигляді:

$$\tilde{\lambda}_j = Q\left(\sum_{i=1}^j w_i^b\right) - Q\left(\sum_{i=1}^{j-1} w_i^b\right), \quad (18.2)$$

де  $w_i^b$  – ваги критеріїв, впорядковані у відповідності зі значенням атрибуту  $b_{ij}$ .

OWA – є універсальним оператором агрегування, тому що має здатність реалізовувати широкий спектр комбінування шарів критеріїв:

оператор мінімум – у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_{n-1} = 0, \tilde{\lambda}_n = 1$ ;

оператор максимум – у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = 1, \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_n = 0$ ;

оператор зважена сума – у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_n = 1/n$ .

Оператори мінімуму та максимуму є екстремальними випадками оператора OWA.

# ЕТАП МІКРОАНАЛІЗУ. МЕТОД АГРЕГУВАННЯ

## OWA ОПЕРАТОР ЯГЕРА З RIM

### КВАНТИФІКАТОРАМИ

Характеристики RIM квантифікаторів при різних значеннях параметру  $\alpha$

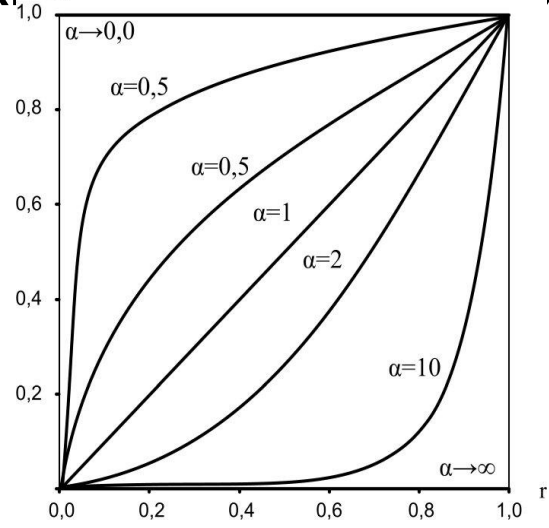


Рис. 19.1 - Сімейство RIM квантифікаторів

Параметр $\alpha$	Нечіткий квантифікатор ( $Q$ )	Ставлення ОПР до ризику	OWA ваги порядку $(\tilde{\lambda}_j)$
$\rightarrow 0$	принаймні для одного	надзвичайно оптимістично (прийняття ризику)	$\tilde{\lambda}_1 = 1; \tilde{\lambda}_k = 0,$ для $k = 2, 3, \dots, n$
0.1	принаймні для декількох	оптимістичний	—
0.5	для декількох	помірно оптимістичний	—
1.0	тотожність	нейтральний	$\tilde{\lambda}_k = 1/n,$ для $k = 1, 2, 3, \dots, n$
2.0	для більшості	помірно песимістичний	—
10.0	майже для всіх	песимістичний	—
$\rightarrow \infty$	для всіх	надзвичайно песимістичний (відмова від ризику)	$\tilde{\lambda}_n = 1; \tilde{\lambda}_k = 0,$ для $k = 1, 2, \dots, n-1$

Сімейство кванторів RIM :

$$Q_\alpha(r) \text{ (19.1) } \alpha \geq 0.$$

Параметр  $\alpha$  можна використовувати для розрахунку набору ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$ :

$$\tilde{\lambda}_j = \left( \sum_{i=1}^j w_i^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} - \left( \sum_{i=1}^{j-1} w_i^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \text{ (19.2)}$$

де  $w_i^b$  – вага критерію  $w_p$ , упорядкована відповідно до значення атрибута  $b_{ij}$ .

# НЕЧІТКА МОДЕЛЬ РЕЛЯЦІЙНОЇ БАЗИ ДАНИХ

## СИСТЕМИ БКДР ПО РОЗМІЩЕННЮ СЕ...

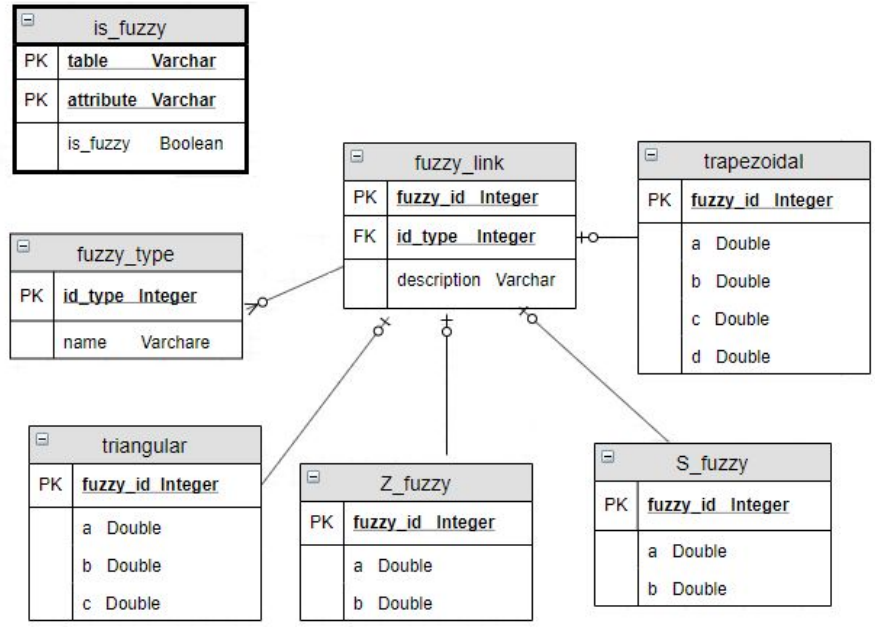


Рис.20.1 - Нечітка метамодель реляційної бази даних

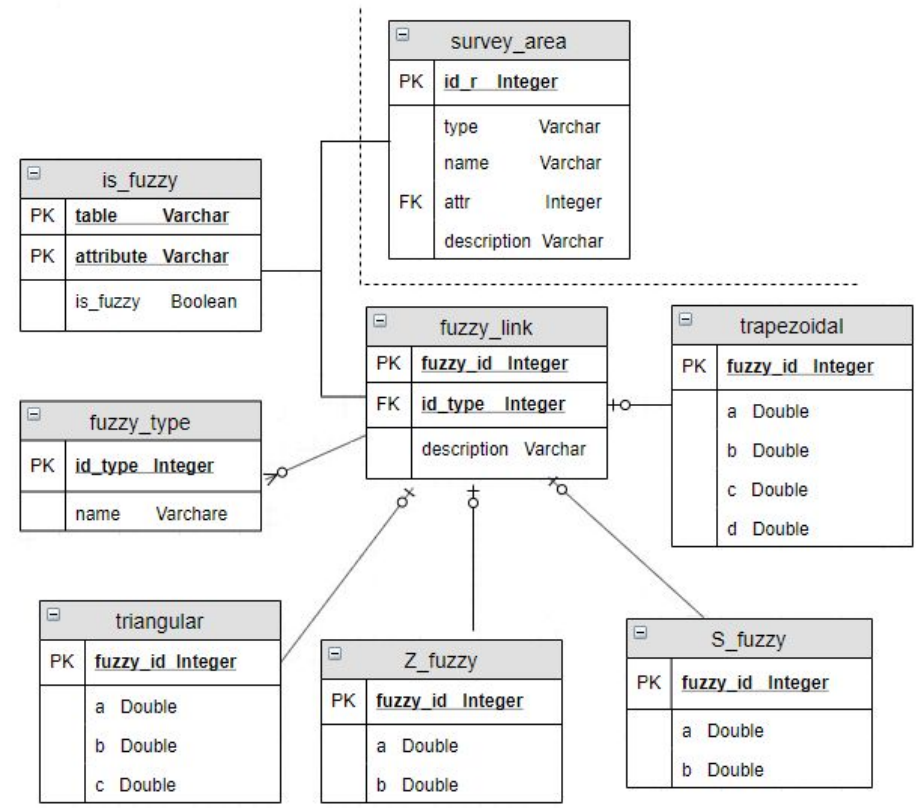


Рис.20.2 - Інформаційна модель зберігання нечіткої інформації в реляційній базі даних системи

# ІНСТРУМЕНТИ ГЕООБРОБКИ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## ДЛЯ СИСТЕМИ БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ

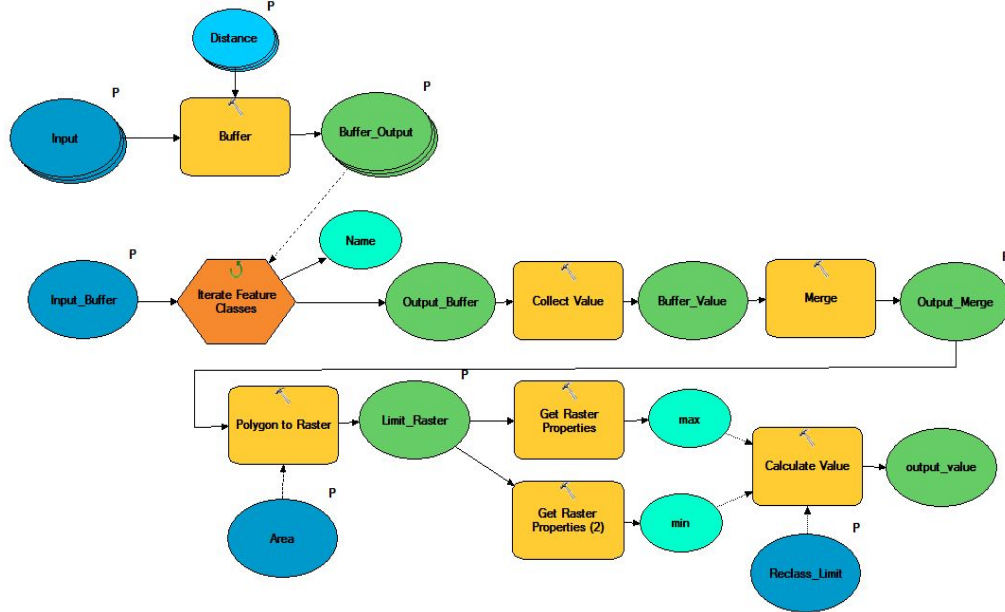


Рис.21.1 - Модель побудови обмежувального растру

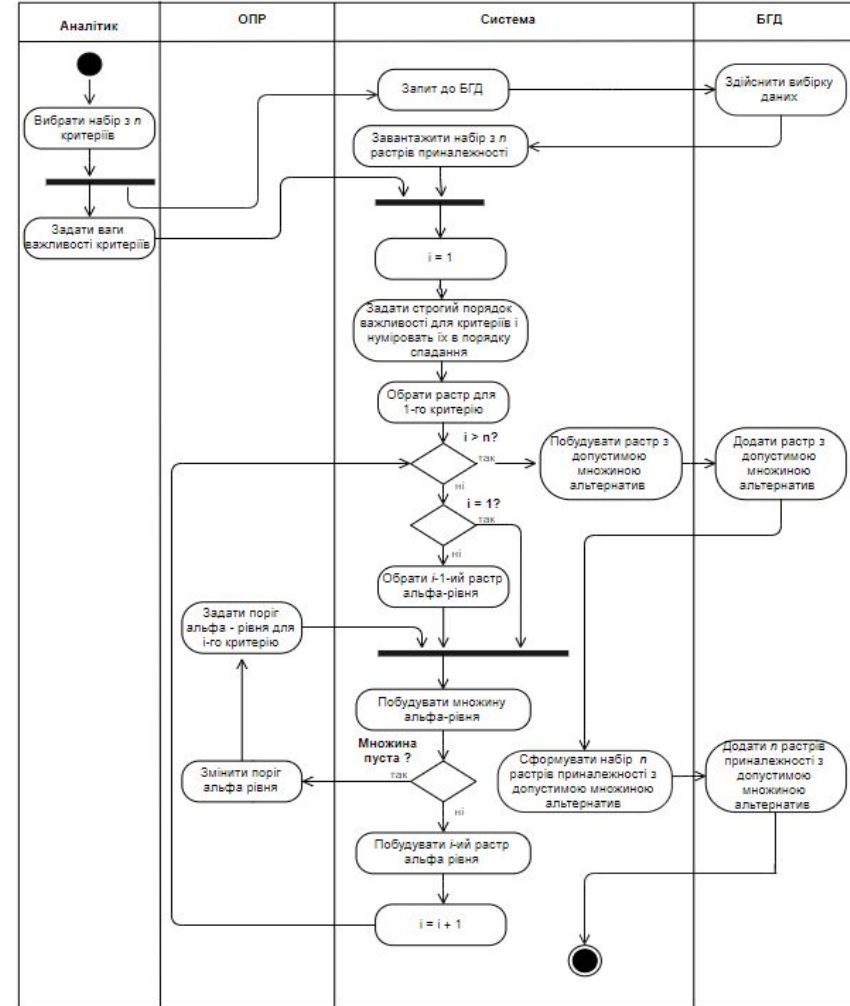


Рис.21.2 - Діаграма діяльності процесу скринінга альтернатив



# РЕАЛІЗАЦІЯ ІС БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

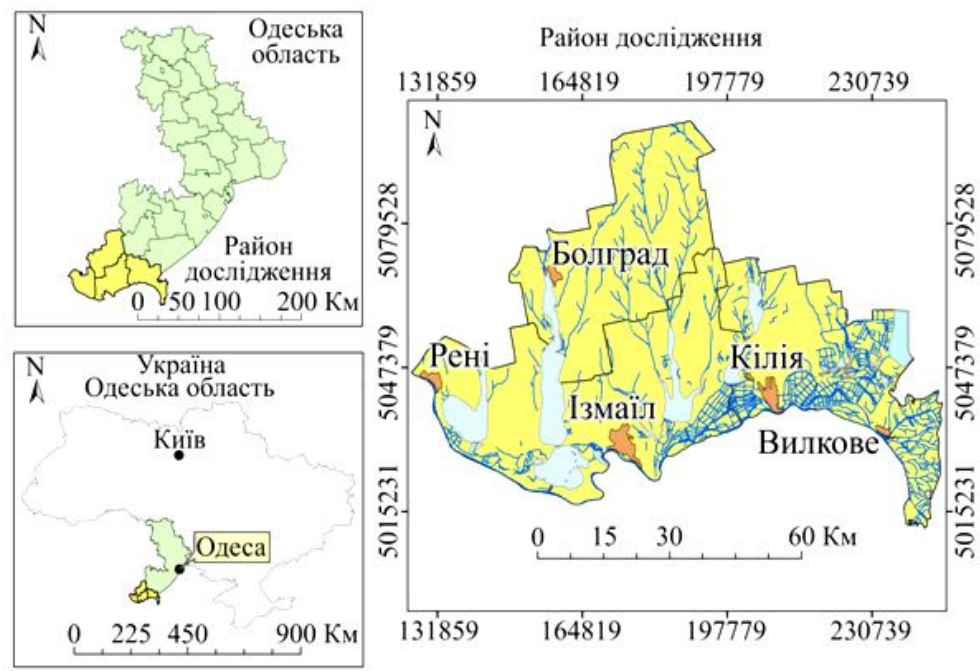


Рис.22.1 – Карта району дослідження

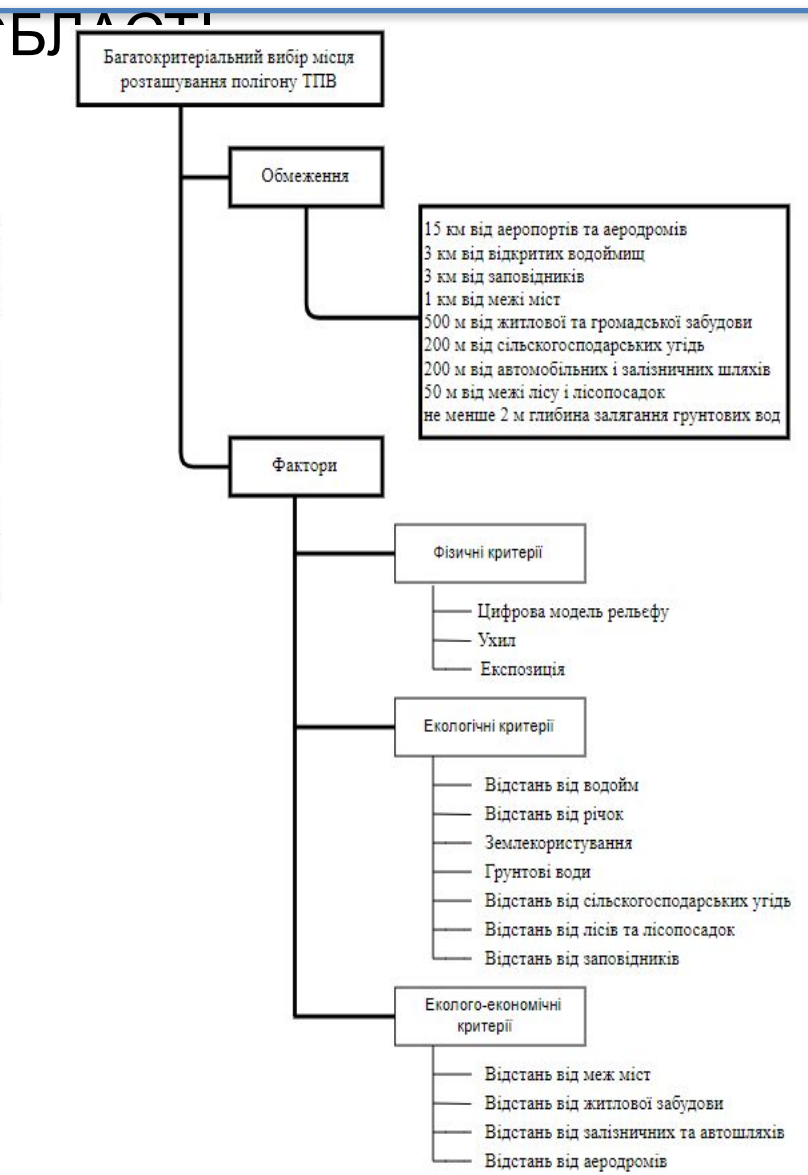


Рис.22.2 - Ієрархічна структура багатокритеріального вибору місця розміщення

# ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОБРОБКИ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## ДЛЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ

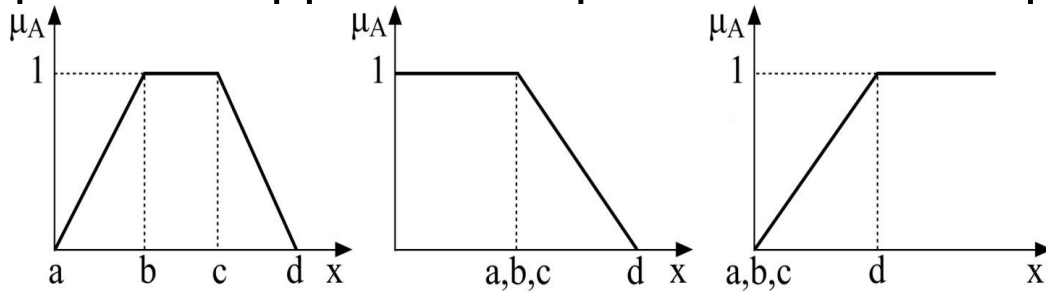


Рис.23.1 - Функцій належності:

а) – трапецевидна; б) – монотонно спадна; в) – монотонно зростаюча

Таблиця 23.1 - Нечіткі функції та множини з контрольними точками для критеріїв

№	Критерії	Контрольні точки				Функція належності
		a	b	c	d	
1	Цифрова модель рельєфу	0	–	–	5	Монотонно зростаюча
2	Ухил (%)	5	–	–	15	Монотонно спадна
3	Експозиція	N	SE	SW	NW	Трапецієподібна
4	Відстань від межі міст (км)	1	10	20	max	Трапецієподібна
5	Відстань від житлової та громадської забудови (км)	0.5	–	–	1.5	Монотонно зростаюча
6	Відстань від автомобільних та залізничних шляхів (км)	0.2	0.5	1	5	Трапецієподібна

БКАР розміщення полігону ТПВ - Стандартизація

Обраний критерій: Відстань від залізничних та автошляхів

Шлях до растру: D:\model\ModelGDB.gdb\Euc\_Road\_Area

Поле растру: Value

Обмежувальний шар: Limiter\_Area

Мінімальне значення = 0      Максимальне значення = 25281

Тип функції належності: Трапецевидна

a = 200    b = 500    c = 1000    d = 5000

Рівні інтервали     Задати інтервали

Значення карти	Станд. значення
200	0
500	1
1000	1
5000	0

Функція належності

Задати

OK    Скасувати

# РОЗРАХУНОК ВАГ КРИТЕРІЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ

## НЕЧІТКОЇ МОДИФІКАЦІЇ МЕТОДУ АНАЛІЗУ Ієрархія

Таблиця 24.1 - Нормовані ваги

Під-критерії	$\tilde{w}_i$	$M_i$	$w_i$
<b>Фізичні критерії</b>			
<b>F1</b>	(0.197, 0.272, 0.392)	0.287	0.277
<b>F2</b>	(0.475, 0.661, 0.899)	0.678	0.655
<b>F3</b>	(0.052, 0.067, 0.090)	0.070	0.067
<b>Екологічні критерії</b>			
<b>E1</b>	(0.102, 0.188, 0.332)	0.208	0.191
<b>E2</b>	(0.069, 0.096, 0.148)	0.104	0.096
<b>E3</b>	(0.080, 0.143, 0.237)	0.154	0.141
<b>E4</b>	(0.181, 0.327, 0.549)	0.352	0.323
<b>E5</b>	(0.059, 0.087, 0.148)	0.098	0.090
<b>E6</b>	(0.055, 0.079, 0.127)	0.087	0.080
<b>E7</b>	(0.055, 0.079, 0.127)	0.087	0.080
<b>Еколого-економічні критерії</b>			
<b>S1</b>	(0.188, 0.305, 0.526)	0.340	0.315
<b>S2</b>	(0.079, 0.123, 0.200)	0.134	0.124
<b>S3</b>	(0.311, 0.512, 0.796)	0.540	0.501
<b>S4</b>	(0.041, 0.060, 0.095)	0.065	0.060

**Ієрархія критеріїв**

- БКАР по розміщенню полігону ТПВ
  - (F) Фізичні критерії
    - (F1) ЦМП
    - (F2) Ухил
    - (F3) Експозиція
  - (E) Екологічні критерії
    - (E1) Відстань від водойм
    - (E2) Відстань від річок
    - (E3) Землекористування
    - (E4) Грунтові води
    - (E5) Відстань від с/г угідь
    - (E6) Відстань від лісів та лісосадов
    - (E7) Відстань від заповідників
  - (S) Еколого-економічні критерії
    - (S1) Відстань від межі міст
    - (S2) Відстань від житлової забудови
    - (S3) Відстань від залізничних і автошлях
    - (S4) Відстань від аеродромів

**Матриця F:**

	F	E	S
F	1	0.5	0.5
E	2	1	2
S	2	0.5	1

**Матриця E:**

	F1	F2	F3
F1	1	0.333	5
F2	3	1	8
F3	0.2	0.125	1

**Матриця S:**

	E1	E2	E3	E4	E5	E7
E1	1	2	1	0.5	2	3
E2	0.5	1	1	0.333	1	1
E3	1	1	1	0.333	2	2
E4	2	3	3	1	3	4
E5	0.5	1	0.5	0.333	1	1

**Матриця S:**

	S1	S2	S3	S4
S1	1	3	0.5	5
S2	0.333	1	0.2	3
S3	2	5	1	6

**Результати розрахунку:**

- F: 0.20, E: 0.49, S: 0.31, CR = 0.05
- F1: 0.27, F2: 0.66, F3: 0.07, CR = 0.06
- E1: 0.19, E2: 0.10, E3: 0.14, E4: 0.32, E5: 0.09, E6: 0.08, E7: 0.08, CR = 0.013821
- S1: 0.30, S2: 0.13, S3: 0.51, S4: 0.06, CR = 0.05

Рис.24.1 - Звіту за результатами розрахунку чітких ваг критеріїв



## 3 ПЕРІОДИЧНА ІНТЕГРАЦІЯ КРИТЕРІЇВ І ФІКАТОРАМИ

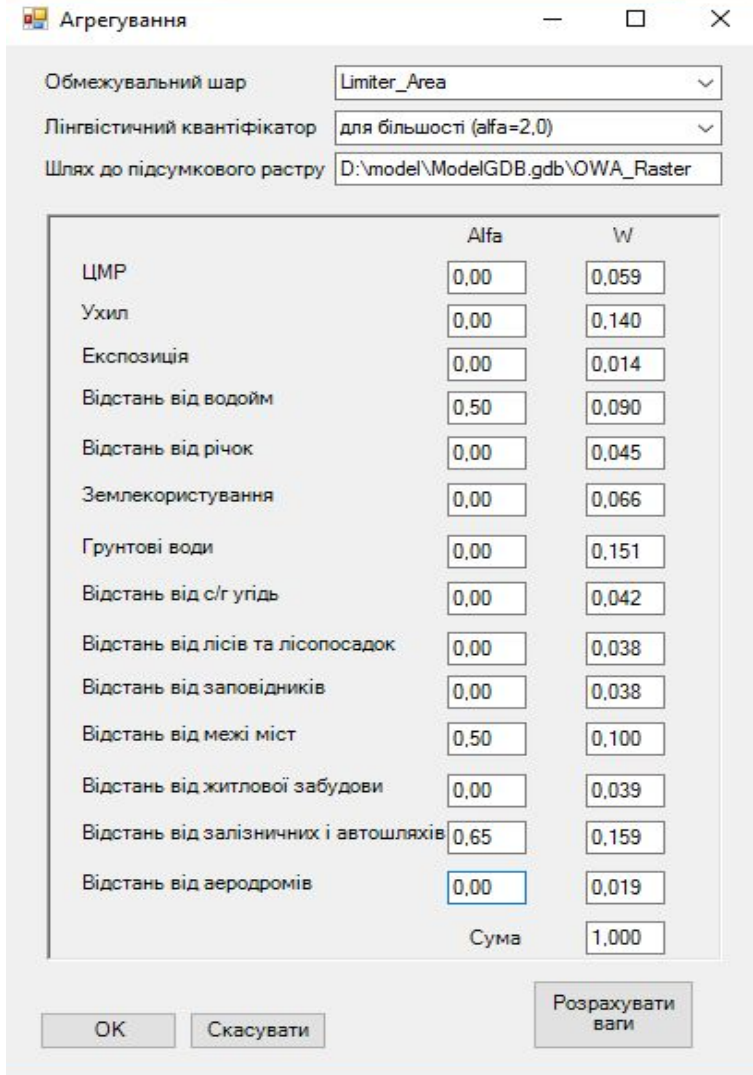


Рис.25.1 - Вікно ІС БКАР для етапу агрегування

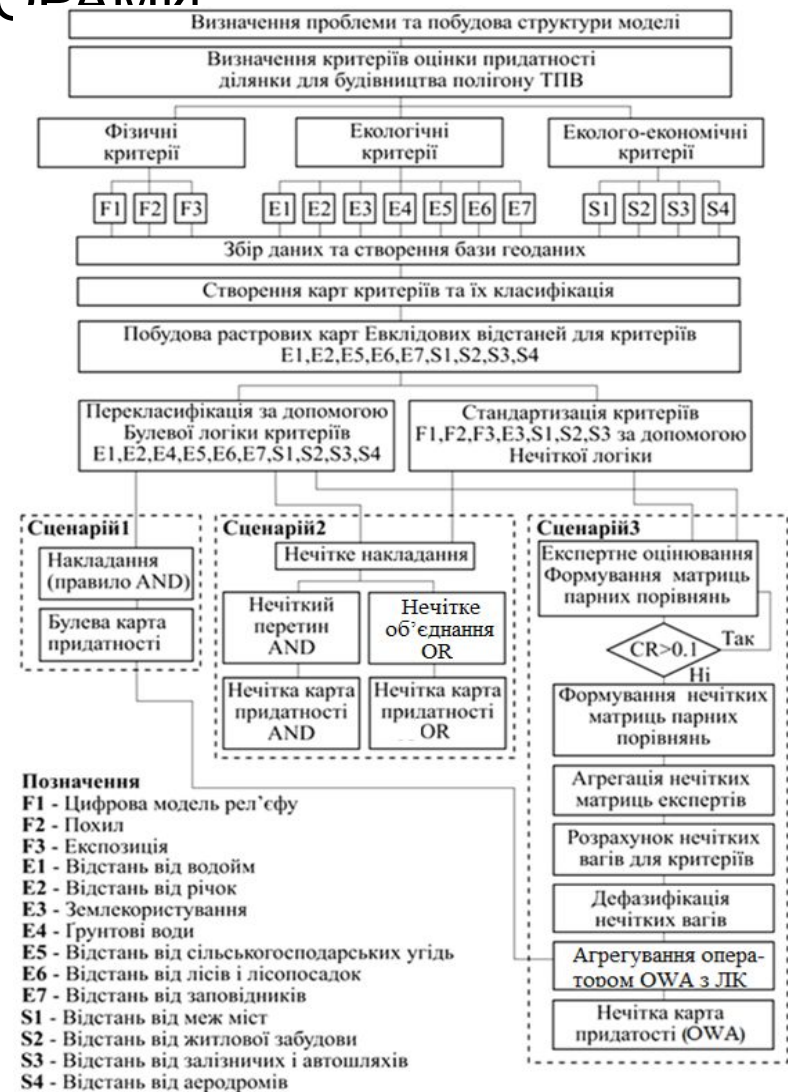


Рис.25.2 - Діаграма сценаріїв БКАР

# РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІС БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ ІС БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

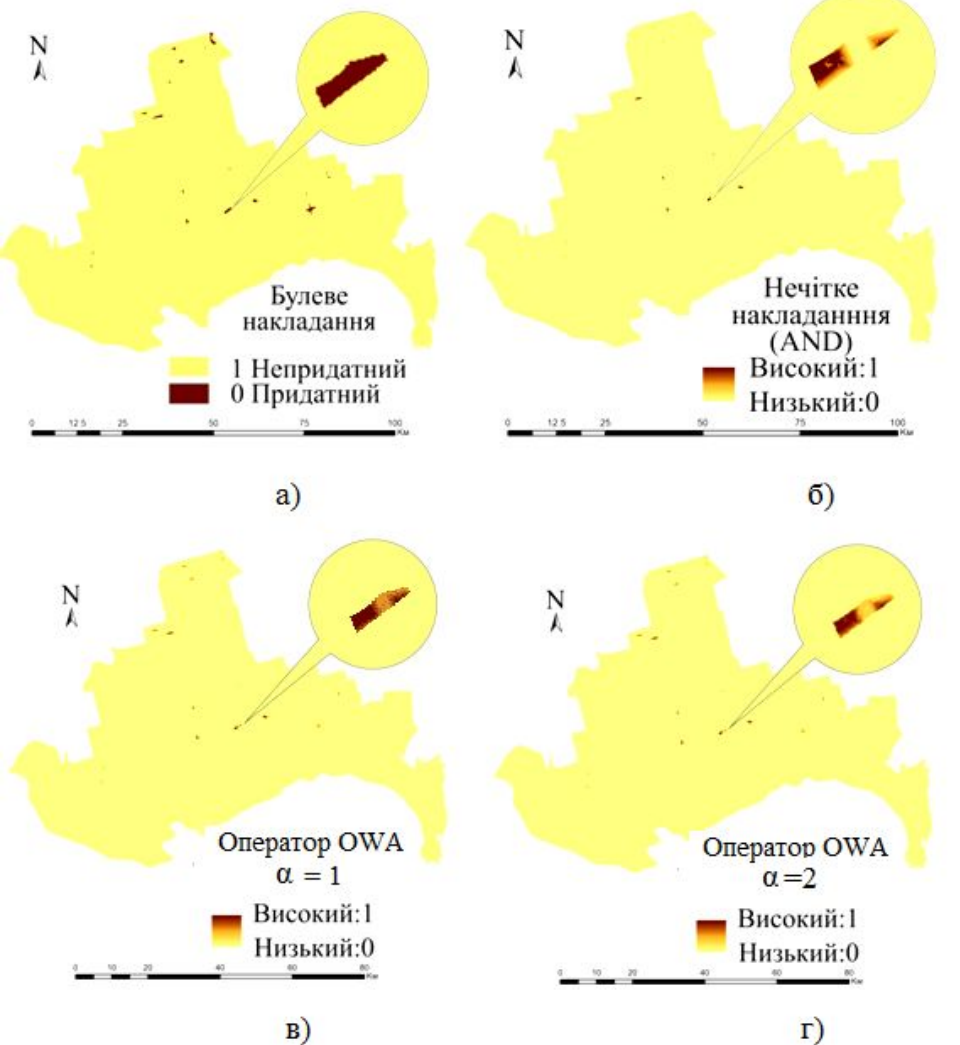


Рис. 26.1 – Карты придатності

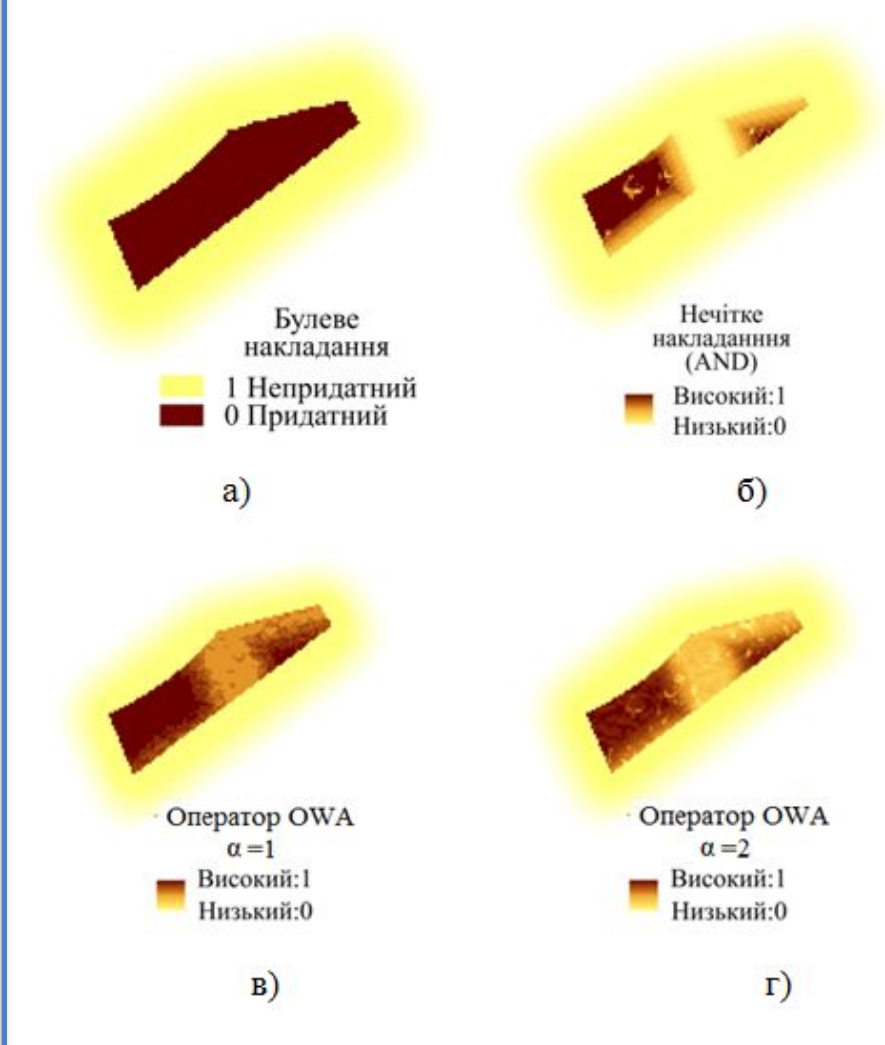


Рис. 26.2 – Ділянки карти придатності

а) – булеве накладання; б) – нечітке накладання (AND); в) – агрегування оператором OWA ( $\alpha=1.0$ ); г) – агрегування оператором OWA ( $\alpha=2.0$ )

# ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІС БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

Переваги використання запропонованої ІС БКАР

перед традиційним способом вирішення завдань територіального планування

Можливість врахування ступеня факторів впливу через визначення рангу придатності (ранжування) альтернатив

альтернатив

Можливість аналізу узгодженості оцінок експертів

Можливість врахування різних стратегій прийняття рішень через наявність способу завдання прийнятного для ОПР правила прийняття рішень за допомогою нечітких квантифікаторів

Можливість отримання набору придатних місць розміщення об'єктів ТПВ за заданими критеріями у вигляді карти місцевості, для подальшого детального аналізу і вибору конкретного місця розташування

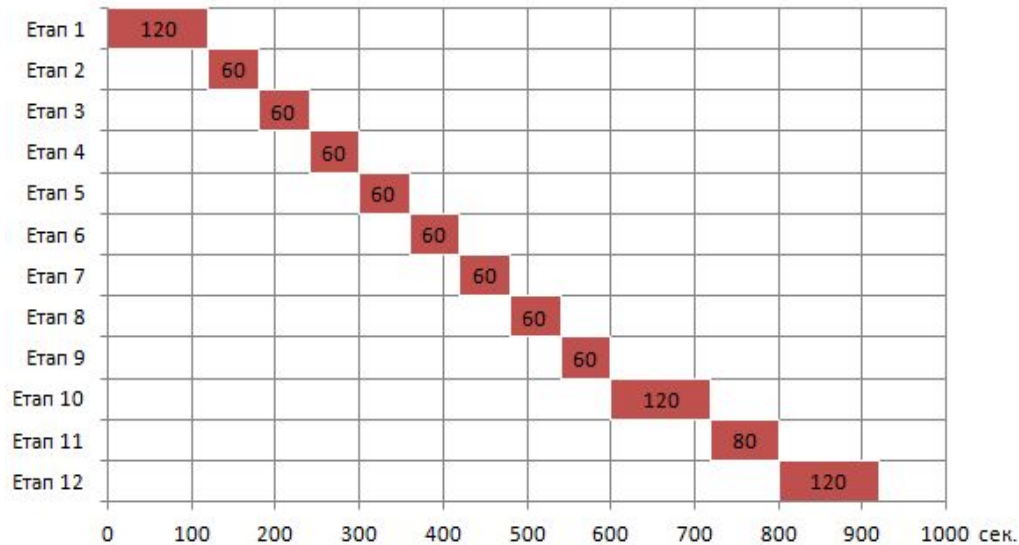


Рис.27.1 - Діаграма Ганта процесу побудови обмежувального шару з використанням окремих інструментів пакету ArcGIS

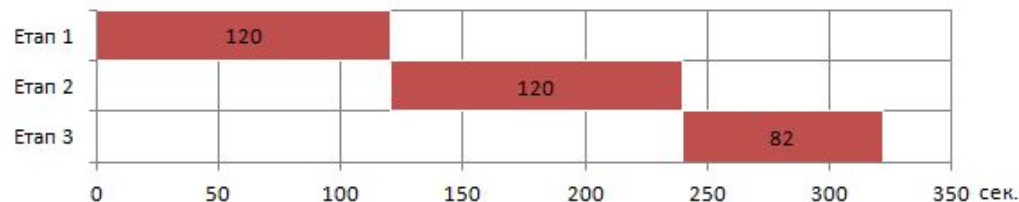


Рис.27.2 - Діаграма Ганта процесу побудови обмежувального шару з використанням ІС БКАР

Підвищення оперативності обчислень на 65% у порівнянні з традиційним способом

# ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІС БКАР ПО РОЗМІЩЕННЮ ОБ'ЄКТІВ ТПВ

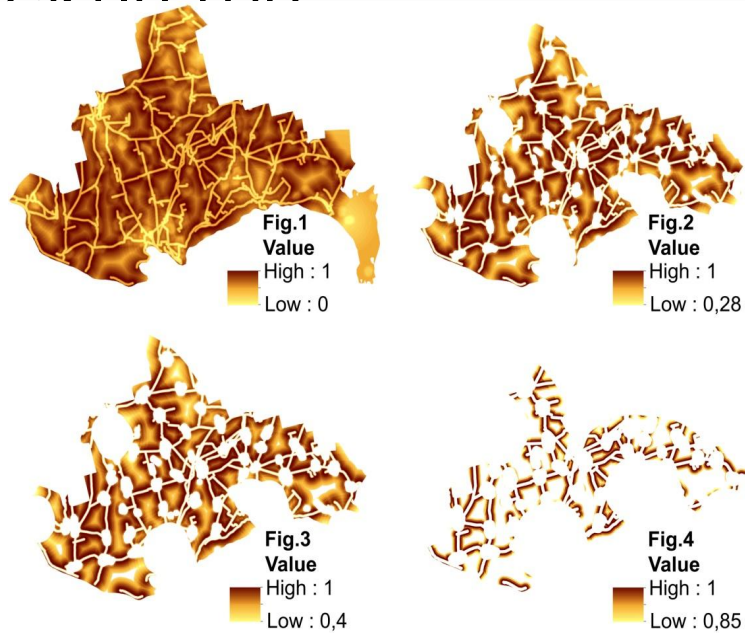


Рис.27.1 - Комбіновані карти придатності для розміщення полігону ТПВ для різних значень  $\alpha$ -порогів нечітких множин

Таблиця 27.1 - Час виконання оператора агрегування при попередньому використанні методу скринінгу альтернатив з різними значеннями  $\alpha$ -порогів

Значення $\alpha$ -порогів ( $a_1, a_2, a_3$ )	Кількість альтернатив (комірок растру зі значеннями)	Час виконання оператора агрегування
(0, 0, 0)	6900583	4870 ms
(0.2, 0.35, 0.3)	4084035	4800 ms
(0.3, 0.5, 0.45)	3540798	4760 ms
(0.8, 0.85, 0.9)	1079139	4580 ms

Аналіз ефективності розроблених алгоритмів і нечітких методів БКАР по розміщенню полігонів ТПВ, показує, що використання запропонованої інтелектуальної системи дозволяє скоротити час на аналіз території (за окремими етапами на 65 – 75%), знизити ймовірність виникнення помилок та підвищити обґрунтованість прийнятих рішень шляхом впровадження експертних знань в процес пошуку придатної території для розміщення об'єктів ТПВ.



1. Розроблено нечітку двохетапну ГІС-орієнтовану модель багатокритеріального аналізу рішень по розміщенню об'єктів ТПВ, яка за рахунок її інтеграції в географічний простір і застосування двохетапного підходу до обробки альтернатив з використанням методів теорії нечітких множин, дозволяє підвищити ефективність процесу прийняття рішень та виконати ранжування територій за ступенем їх придатності для розміщення об'єктів ТПВ з отриманням результату у вигляді карти місцевості;
2. Розроблено метод скринінгу альтернатив, який за рахунок визначення на основі переваг ОПР, порогів, за якими будується нечітка множина  $\alpha$ -рівня для кожного критерію, дозволяє виконати фільтрацію альтернатив, що забезпечує скорочення часу обробки шарів критеріїв операторами агрегування.

#### *Удосконалено:*

1. Модель обробки геопросторової інформації про розміщення об'єктів ТПВ, яка за рахунок поєднання методів геоінформаційного аналізу і просторового моделювання та апарату теорії нечітких множин, дозволяє виконати декомпозицію різнорідної геопросторової інформації на шари критеріїв, визначити множину альтернатив, а також формалізувати експертні знання про предметну область, що забезпечує підвищення ефективності процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ;
2. Метод аналізу ієрархій для розрахунку ваг критеріїв, який за рахунок використанням лінгвістичних змінних, представлених нечіткими трикутними числами, дозволяє враховувати невизначеність в судженнях експертів відносно ступенів важливості (ваг) критеріїв, особливо у випадках їх виразу у словесній формі, що забезпечує підвищення ефективності, обґрунтованості та об'єктивності процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ;
3. Метод агрегування атрибутів альтернатив за різними критеріями OWA оператором Ягера, який за рахунок застосування нечітких лінгвістичних квантифікаторів, дозволяє формалізувати нечітку інформацію про допустиму для ОПР стратегії прийняття рішень, що забезпечує підвищення ефективності та обґрунтованості процесу прийняття рішень по розміщенню об'єктів ТПВ;
4. Метамоделювання побудови нечіткої бази знань, яка розширяє реляційну модель для подання нечітких даних і дозволяє за допомогою реляційних структур зберігати атрибутивну інформацію, функції належності та судження експертів.

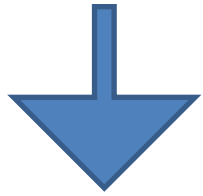
# ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

## Нові наукові результати

Вперше розроблено нечітку  
двохетапну ГІС-орієнтовану  
модель багатокритеріального  
аналізу рішень по  
розміщенню об'єктів ТПВ

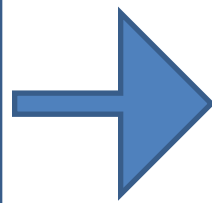
Вперше розроблено метод  
скрінінгу альтернатив

Удосконалено модель обробки  
геопросторової інформації про  
розміщення об'єктів ТПВ



## Практичне значення отриманих результатів

На основі розроблених моделей, методів та алгоритмів створена інтелектуальна система БКАР, яка може використовуватися для автоматизації процесу обробки геопросторових даних з метою побудови комплексних карт придатності територій для визначення придатних ділянок для розміщення об'єктів ТПВ.  
Використання системи БКАР дозволяє скоротити час на аналіз території (за окремими етапами на 65 – 75%) у порівнянні з традиційними способами.



# ПУБЛІКАЦІЇ, АПРОБАЦІЇ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ

## РЕЗУЛЬТАТИВ

### СТАТТІ У НАУКОВИХ ВИДАННЯХ ДЕРЖАВНОЇ АПРОБАЦІЇ

№	Журнал (збірник наукових праць), в якому опублікована стаття	Кількість статей
1	Econtechmod, Poland	1
2	Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer (SCOPUS)	1
3	Transmission and Security of Information, Poland	1
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>3</b>

На 10 конференціях та семінарах  
 КНУ імені Тараса Шевченка  
 Державний університет телекомунікацій  
 Одеський державний екологічний університет  
 ОНУ імені І.І. Мечникова  
 Харківський національний університет радіоелектроніки  
 ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
 Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника  
 Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Poland

### СТАТТІ У ФАХОВИХ НАУКОВИХ ВИДАННЯХ

№	Журнал (збірник наукових праць), в якому опублікована стаття	Кількість статей
1	Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies (SCOPUS)	1
2	Збірник наукових праць Військового інституту КНУ імені Тараса Шевченка	1
3	Кібербезпека: освіта, наука, техніка (категорія Б)	1
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>3</b>

### НДР

1. НДР «Вдосконалення методів інформаційних технологій з метою їх використання в дослідженні об'єктів довкілля та у процесі підготовки фахівців», № ДР 0114U000627, ОДЕКУ, 2017-2018 р.
2. НДР «Геоінформаційні і інтелектуальні технології підтримки прийняття рішень в задачах оцінки та прогнозування екологічної безпеки територій», № ДР 0114U000627, ОДЕКУ, 2018-2019 р.

### АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. ТОВ "..."
2. Навчальний процес в ОДЕКУ
3. ....

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**