

УДК 004: 942

Є.І. Кучеренко<sup>1</sup>, І.С. Глушенкова<sup>2</sup>, С.О. Глушенков<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ФАЗЗИ – МОДЕЛІ В УПРАВЛІННІ СКЛАДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Удосконалено нечітку мережеву модель, що на відміну від існуючих, додатково включає визначені у часі та просторі предикати, що відносяться до просторових рішень, отриманих засобами ГІС-технологій. Визначено, що ефективно впровадження розробок, заснованих на положеннях нечіткої логіки, є трудомістким та наукомістким процесом, автоматизація якого засобами ГІС дозволить звільнити значні обчислювальні та матеріальні ресурси.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, просторові об'єкти, нечітка логіка.

### Вступ

Геоінформаційні технології використовуються в усіх галузях народного господарства завдяки управлінню просторовими компонентами та широкими можливостями з обробки та аналізу просторових даних. Внаслідок того, що далеко не всі дані завжди чітко визначені, все більший розвиток набувають інтелектуальні технології, які ґрунтуються на нечіткій логіці та м'яких обчисленнях.

В останніх версіях програмного середовища ArcGis [1] з'явилися інструменти на основі нечіткої логіки та існує значна кількість наукових публікацій, присвячених цій темі. Тому існує необхідність розробки методів і фаззи - моделей щодо застосування апарату нечіткої логіки у задачах геоінформаційного аналізу [1, 2].

Метою роботи є розробка фаззи – моделей, методів та знання орієнтованих інформаційних технологій на основі м'яких обчислень, що дозволить підвищити ефективність задач геоінформаційного аналізу в умовах просторової невизначеності, що є важливим та актуальним.

### 1. Постановка задач досліджень

Очевидно, що існуючі методи [3] об'єктно-орієнтовані та їх ефективність багато в чому залежить від предметної області. Тому оцінювання станів просторово розподілених об'єктів є важливою та актуальною проблемою.

Розглянемо формальні аспекти. Вихідними даними для розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності є:

– нечіткий простір станів, заданий на множині відношень «умова – дія», що визначає вихідний стан складного об'єкта:

$$\{\tilde{Q}_i\}, \quad i \in I, \quad (1)$$

де  $\{\tilde{Q}_i\}$  – множина процесів вихідних станів об'єктів;

$I$  – множина індексів процесів вихідних станів об'єктів;

– досліджувані взаємодіючі процеси носять асинхронний характер та функціонують в розподіленому нечіткому просторі станів (1):

$$\{\tilde{P}_k\}, \quad k \in K, \quad (2)$$

де  $\{\tilde{P}_k\}$  – множина нечітких процесів;  $K$  – множина індексів процесів;

– об'єкт функціонує в умовах нечіткості даних та знань, що визначає простір вихідних станів складних об'єктів (1);

– визначена множина функцій належності процесів (2):

$$\{\mu_i(k)\}, \quad i \in I, \quad (3)$$

де  $\mu_i$  – множина функцій належності;  $k$  – деяка змінна, що визначає значення функцій належності.

Компоненти із (3):

$$\mu_i(k) \in \{\mu_i(k)\}, \quad (4)$$

визначені на деякому нечіткому інтервалі  $[0,1]$  і дозволяють отримати нові (часто неточні або наближені) дані, які потребують подальших досліджень.

Нехай існує множина взаємодіючих динамічних просторово розподілених об'єктів [4]

$$\{A_\alpha\} \supseteq \{A(O)_\alpha\}, \quad \alpha \in A, \quad (5)$$

де  $A(O)_\alpha$  – множина актуальних об'єктів;  $A$  – множина індексів об'єктів.

Просторове положення об'єкта (5) представлено на множині декартового добутку у вигляді відношень

$$R(X, Y, Z), X \times Y \times Z \neq \emptyset, \quad (6)$$

де  $R(X, Y, Z)$  – множина відношень на декартових добутках, у яких визначено значення координат об'єктів, причому

$$\forall a_j, a_j \in A(O), j \in J,$$

визначено на множині простору станів  $\{G_\beta\}, \beta \in B$

розподілених об'єктів, які функціонують у часі  $\tau$ .

Необхідно визначити простір станів об'єкта (5) з координатами  $R(X, Y, Z)$  на множині простору станів  $\{G_B\}$  з урахуванням множини факторів  $\{\Phi_k\}$  та орієнтовану на знання модель  $\tilde{S}_\Sigma$  для об'єктів (5), що визначає їх ефективне функціонування.

Слід підкреслити, що ефективне впровадження розробок, заснованих на положеннях нечіткої логіки, є трудомістким та наукомістким процесами, автоматизація яких в ГІС дозволить звільнити значні обчислювальні та матеріальні ресурси.

## 2. Моделі об'єктів та процесів

**Моделі об'єкта.** Розглянемо особливості подання об'єктів на моделі. Нехай існує множина об'єктів. Елементи множини (5) характеризуються деякими координатами  $X, Y, Z$ , і деякими, пов'язаними з координатами об'єкта, процесами й ознаками.

Такі об'єкти виконують свої функції на множині взаємодіючих динамічних процесів, що носять детермінований ( $D$ ), ймовірнісний або стохастичний ( $P$ ), нечіткий ( $\tilde{F}$ ) характеру [5].

Процеси управління і прийняття рішень  $D, P$  достатньо досліджено у науковій літературі [6]. Проте, проблема зниження рівня невизначеності лишається актуальною і потребує додаткових досліджень.

**Моделі процесів.** Дослідження показали [5], що класифікацію математичних моделей взаємодіючих процесів може бути подано у такому вигляді (рис. 1).

Детерміновані  $D$ -моделі при розв'язанні поставлених задач за звичай включають предикатні мережі Петрі [7] і МП з розширеннями [8]. Проте, детерміновані моделі носять обмежений характер у зв'язку з їх функціональною і структурною недосконалістю.

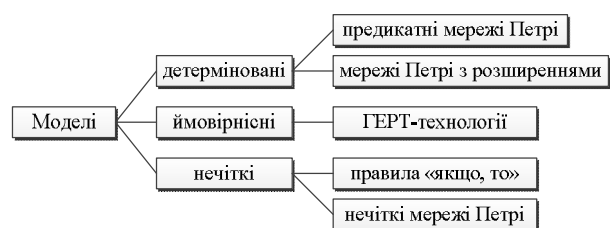


Рис. 1. Класифікація моделей

Ймовірнісні  $P$ -моделі охоплюють, за звичай, більш ширший клас об'єктів і процесів. Для ймовірнісних  $P$ -моделей характерними найбільш вивченими є технології Graphical Evaluation and Review Technique (ГЕРТ-технології). Проте вимоги обліку функцій розподілу на часових інтервалах у таких моделях не завжди дозволяють адекватно відобразити об'єкти і процеси [9].

Нечіткі  $F$ -моделі відображають широкий клас відносно слабо вивчених об'єктів і процесів. Характерними для таких моделей є правила типу «якщо, то» і нечіткі МП [10, 11], подані на множині відношень «умова – дія».

Змістовний аналіз постановки задачі дозволяє нам представити узагальнену структуру розв'язку прикладних задач (рис. 2).

Розглянемо формальну модель прийняття рішень [10, 11] про стан складних об'єктів, що характеризуються просторовим і функціональним розподілом, асинхронною взаємодією процесів, поданих на множині відношень «умова – дія».

Існує множина методик оцінювання станів таких об'єктів. До них, у першу чергу, слід віднести детерміновані, ймовірні, експертні, ієрархій, а також, засновані на методах багатокритеріальної оптимізації, нечітких множин, нечітких МП, нечіткої логіки.

Проте, вимоги щодо підвищення вірогідності прийняття рішень в умовах жорстких обмежень на обчислювальні ресурси викликають необхідність створення і дослідження таких моделей.

Стратегію розв'язку таких задач може бути подано на моделі [12, 13]:

$$S^{(R)} = S_p \cup S_N, \quad (7)$$

де  $S^{(R)}$  – множина усіх рішень;  $S_p$  – множина рішень в умовах повної визначеності;  $S_N$  – множина рішень в умовах невизначеності; символ  $\cup$  в (7) несе додаткову функціональність, що не дозволяє, зазвичай, об'єднувати множини  $S_p, S_N$ .

Існує множина визначених рішень

$$S_p = \{S_i\}, i \in I \quad (8)$$

і множина рішень, що характеризуються невизначеністю

$$S_N = \{S_j\}, j \in J. \quad (9)$$

Тоді результат моделювання можна представити у вигляді сукупності

$$\{S_i\} \cup \{S_b\}, \quad (10)$$

де  $S_b$  – рішення кількісних оцінок.

Модель (7) представимо у вигляді

$$\tilde{S}_N = \langle \tilde{S}^{(k)}, \{if / then\} \rangle, \quad (11)$$

де  $\tilde{S}^{(k)}$  – розширена нечітка мережева модель на основі модифікації предикатних МП;  $\{if / then\}$  – модель нечітких знань Заде-Мамдані.

Нечітку мережеву модель на основі предикатних МП визначено як:

$$\tilde{S}^{(k)} = \langle \tilde{P}, \tilde{T}, \tilde{F}, \tilde{M}_0, \tilde{P}_n(\tau), \tilde{P}_k^{(GIS)}(\tau, O) \rangle, \quad (12)$$

де  $\tilde{P}$  – кінцева множина нечітких позицій;  $\tilde{T}$  – кінцева множина нечітких переходів;  $\tilde{F}$  – нечітка функція інцидентностей –  $\tilde{F}: (\tilde{P} \times \tilde{T}) \cup (\tilde{T} \times \tilde{P})$ ;  $\tilde{M}_0$  –

вектор нечіткого початкового маркування нечітких позицій  $\tilde{P}$ ;  $\tilde{P}_n(\tau)$  – предикати, що відносяться до логічних рішень, визначених на часі;  $\tilde{P}_k^{(GIS)}(\tau, O)$  – предикати, що відносяться до просторових рішень, отриманих засобами ГІС-технологій та визначених на часі та просторі.

Комплекс моделей (7)–(12) було застосовано у задачах моделювання кадастрових просторових систем.

### 3. Моделі процесів та об'єктів з використанням додатку ModelBuilder

Програмне середовище ModelBuilder (рис. 2) – це додаток ArcGIS 10.0, що використовується для створення, редагування і управління моделями.

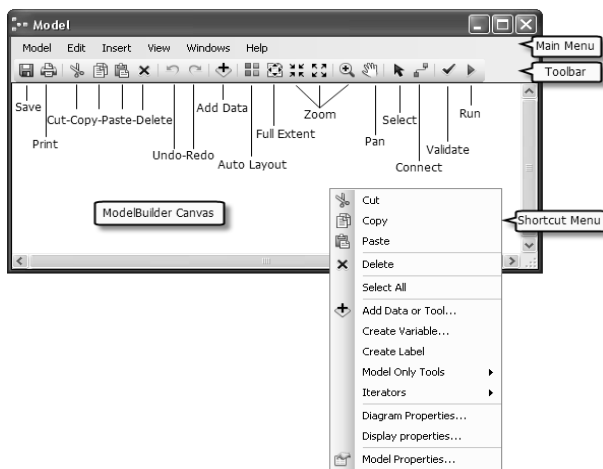


Рис. 2. Інтерфейс ModelBuilder

Моделі - це робочі процеси, які з'єднані один з одним в послідовності інструментів геообробки, подаючи вихід одного інструменту в інший інструмент в якості входу. ModelBuilder можна також розглядати як візуальний мова програмування для побудови робочих потоків [1] та аналізу систем.

ModelBuilder має простий інтерфейс з меню, панелями інструментів і контекстними меню, як показано на рис. 2. ModelBuilder має три набори параметрів, які використовуються в моделі: властивості моделі, діаграми та відображення.

Властивості моделі - ці властивості дозволяють задавати назву моделі, напис, опис, відносний шлях, властивості параметрів, змінні середовища моделі, довідку і кількість проходів.

Властивості діаграми - це властивості, що дозволяють змінювати розташування елементів на діаграмі, а також її колір і стиль.

Властивості відображення - це властивості, що дозволяють змінювати зовнішній вигляд і інші графічні властивості окремих елементів

Моделювання процесів в повній мірі дозволило визначити ефективність ГІС та технологій.

### 4. Нечітка логіка в ArcGIS технологіях

Починаючи з версії ArcGIS 10.0 [1] введено два інструменти на основі нечіткої логіки: Fuzzy Membership і Fuzzy Overlay.

Функції належності, які містить ArcGIS, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Функції належності у ArcGIS

Fuzzy Gaussian	Задає функцію належності нечіткої множини через гауссовий (нормальний) розподіл на підставі заданої користувачем середини (якої присвоюється значення приналежності 1) з певним розкидом, що наближається до нуля.
Fuzzy Linear	Задає функцію належності нечіткої множини на основі лінійного перетворення між зазначеним користувачем мінімальним значенням, що має значення приналежності рівне 0, і заданим користувачем максимальним значенням, з приналежністю, що дорівнює 1.
Fuzzy MSLarge	Задає нечітку множини за допомогою функції, заснованої на середньому значенні і стандартному відхиленні, причому чим більше значення має елемент множини, тим ближче його приналежність до 1.
Fuzzy MSSmall	Задає нечітку множини за допомогою функції, заснованої на середньому і стандартному відхиленні, причому чим менше значення має елемент множини, тим ближче до 1.
Fuzzy Near	Задає функцію належності нечіткої множини біля певного значення, заданого користувачем як середня точка з приналежністю рівною 1, з певним розкидом, що наближається до нуля.
Fuzzy Small	Визначає функцію нечіткої множини з меншими вхідними значеннями, приналежність яких наближається до одиниці.

Використання функцій (табл.1) суттєво розширює можливості програмного середовища ArcGIS.

### 5. Практичні рішення нечіткого подання в ГІС

Традиційно для оцінки якості води у водному об'єкті використовуються фізичні, хімічні та санітарно-бактеріологічні показники [14]. Залежно від забрудненості водного об'єкта і призначення води пред'являються і додаткові вимоги до її якості. Використовуючи критерії вимог для якості води та розроблений у роботі [15] метод, розроблено

геоінформаційну технологію та виконано аналіз Буцацького водоносного горизонту Харківської та Полтавської областей, що має глибину залягання 60 – 150 м, місцями досягає глибини до 300 м. Горизонт перекритий товщею водотривких глин, тому води не піддаються бактеріологічному забрудненню.

На рис. 3 запропонована схема розміщення свердловин в Харківській області.



Рис. 3. Схема розміщення свердловин у Харківській області

На кожен свердловину до бази геоданих занесені результати хімічного аналізу води, фрагмент таблиці атрибутів по свердловинах подано на рис. 4.

id	specific gravity	Обсяг, м³/дні	Поперець, м/дні	Глибина, м/дні	Cl	SO4	NO3	Fe	Mn	CO3	amount of anions	Na	K	Ca	Mg			
171	1	385	663	385	0.45	148	393	0.1	1.1	1.44	0	0	0	419.25	70.17	2.3	49.52	7.98
171	1.0000	530	0	53	3071	851	3244	0.1	1.1	3.89	0	0	0	444.61	36.56	0.526	45.89	3.63
172	1.0000	54	0	54	2071	943	3539	0.1	1.1	3.72	0	0	0	540.49	50.96	1.37	73.74	22.74
171	1.0005	351	0	351	4151	443	320	0.1	1.1	3.36	0	0	0	371.07	52.89	0.255	36.07	20.79
172	1.0002	670	0	54	4974	274	3555	0.1	1.1	3.71	0.004	0	0	461.40	40.29	0.25	52.01	43.77
172	1.0002	639	16	53	4051	332	3224	0.1	1.1	3.36	0.002	0	0	424.86	46.46	0.52	116.94	11.01
172	1.0000	658	113	545	4013	376	3353	0.1	1.1	2.94	0	0	0	446.04	41.39	0.379	74.75	34.06
171	1.0000	745	205	529	4915	313	3393	0.1	1.1	4.01	0	0	0	404.25	41.38	1.34	86.21	26.86
172	1.0006	746	197	740	3919	1158	3362	0.1	1.1	2.89	0	0	0	333.71	40	0.526	144.71	39.31
172	1.0004	1211	58	63	3139	2962	3044	0.1	1.1	1.44	0.2	0	0	735.45	43.83	0.381	99.4	86.82
171	1.0006	1071	275	529	1121	3763	353	0.1	1.1	3.72	0	0	0	709.13	45.22	0.37	146.99	69.61
171	1.0007	1182	537	619	1114	245	3892	0.1	1.1	1.44	0	0	0	298	37.11	0.786	117.84	69.91
171	1	53	0.22	53	2961	371	4352	0.1	1.1	0.43	0.004	0	0	409.33	49.29	1.2	91.18	11.6
172	1.0012	1786	238	53	2619	1472	3244	0.1	1.1	4.01	0	0	0	353.3	36.39	0.56	100	34.91
169	0	344	0	344	3196	317	3944	0.1	0	0.52	0	0	0	410.91	37.91	0	98.71	13.3
173	0	144	0	144	3196	1526	3122	0.1	1.1	0	0	0	0	757.04	36.53	1.44	218	4.99
0	0	8985	334	0	5	322	4016	3899	0	0	0.51	0	0	415.2	40.76	0	123	17.02
0	0	10044	291	621	7	1143	421	3341	0	0	0.29	0	0	127.84	46.71	1.78	186.21	55.44
0	0	10022	1033	245	84	243	1967	3754	0.51	0	0.1	0	0	734.21	31.7	14.6	366.9	30.61
172	1.0006	1077	166	667	718	358	446	0.66	0.5	1.1	3.72	0	0	360	294.62	5.08	151	2.81
172	1.0005	242	0	232	3115	366	3822	0.1	1.1	0	0	0	0	449.65	52.163	0.38	245	15.91
171	1.0003	317	0	317	3535	372	3402	0.1	1.1	2.48	0.02	0	0	445.15	50.34	0.32	31.46	15.35
176	1.0017	142	0	142	4011	358	2963	0.1	1.1	0	0.07	0	0	1018.15	26.63	0.98	29.24	3.85
172	1.0002	238	0	238	2661	743	3403	0.1	1.1	0.004	0	0	0	462.17	37.53	0.71	127.65	17.51
171	1.0006	232	0	232	417	681	389	0.1	0.5	1.44	0.3	0	0	457.11	113.35	0.39	25.25	12.09
172	1.0000	1019	194	815	679	1012	497	0.1	1.1	0.004	0	0	0	666.4	49.07	3.1	155.47	40.49
0	0	10003	64	330	313	31	123	0.1	0	0.001	0	0	0	491.63	39.51	0.99	34.07	20.75
0	0	10001	62	383	350	442	292	0.1	0	0.002	0	0	0	395	37.99	11.73	45.49	10.91
171	0	357	64	357	3149	842	289	0.4	0	0	0.02	0	0	383.74	86.91	0.579	37.89	20.31

Рис. 4. Фрагмент таблиці атрибутів по свердловинах

Використовуючи версію ArcGIS 10.0 [1, 2] та розроблені методи [15] до Буцацького водоносного горизонту, виконано геоінформаційний аналіз та відповідні дослідження, створено модель процесів досліджень (рис. 5), що дозволило одержати фактичні результати (рис. 6).

Реалізуючи процеси дефазифікації моделі додатку ModelBuilder програмного середовища версії ArcGIS 10.0, створено карту якості води, яка свідчить про місця, де вода придатна для водопостачання (рис. 7).

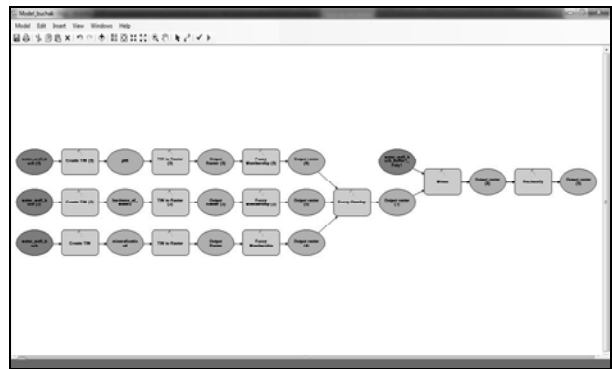


Рис. 5. Модель аналізу води Буцацького водоносного горизонту

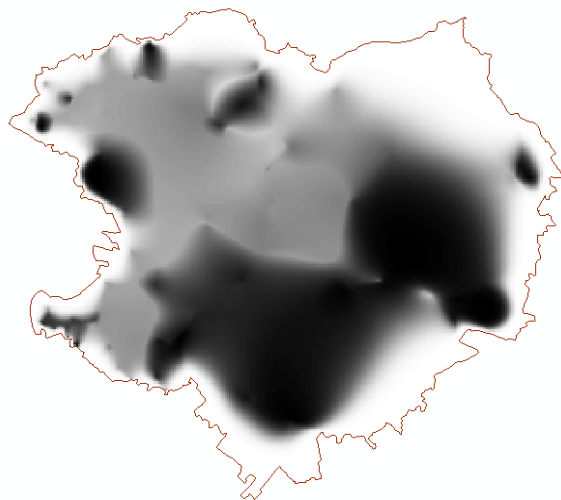


Рис. 6. Території, що відповідають заданим умовам



Рис. 7. Карта придатності води для водопостачання (темний колір – непридатна, світлий – придатна)

В результаті обробки моделі (рис. 5) було створено карту придатності води для водопостачання та споживання. У разі розробки свердловин та налаштування водопостачання необхідно провести повний аналіз води для підтвердження якості води по усім показникам.

## Висновки

1. Удосконалено нечітку мережеву модель, що на відміну від існуючих, додатково включає визначені у часі та просторі предикати, що відносяться до просторових рішень, отриманих засобами ГІС-технологій.

2. Визначено, що ефективно впровадження розробок, заснованих на положеннях нечіткої логіки, є трудомістким та наукомістким процесами, автоматизація якого засобами ГІС дозволить звільнити значні обчислювальні та матеріальні ресурси.

3. У зв'язку з цим запропоновано модель аналізу води Буцацького водоносного горизонту території Харківської та Полтавської областей, визначено придатність води до постачання та споживання.

4. Перспективами подальших досліджень може бути адаптація розробок до важливих предметних областей народного господарства України та інших держав.

## Список літератури

1. ArcGIS Help 10.1 [Electronic resource]. – Regime of access: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/FuzzyGaussian/005m00000039000000>.

2. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / K. Johnston, J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko, N. Lucas. – Redlands : ESRI, 2001. – 300 p.

3. Мельничук, О.Ю. Системне моделювання території для потреб землеустрою [Текст] / О.Ю. Мельничук // Вісник геодезії та картографії. – 2008. – № 6. – С. 25–27.

4. Шаталов, А.С. Отображение процессов управления в пространствах состояний [Текст] / А.С. Шаталов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

5. Кучеренко, Е.И. О методах, моделях и критериях принятия решений в пространственно-распределенных объектах [Текст] / Е.И. Кучеренко, И.С. Глушенкова // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Тематический выпуск : Информатика и моделирование. – 2009. – № 13 (43). – С. 102–107.

6. Сироджа, И.Б. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта [Текст] / И.Б. Сироджа // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 161–171.

7. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон – М. : Мир, 1984. – 264 с.

8. Кучеренко, Е.И. Сіткові моделі в задачах аналізу складних систем [Текст] / Е.И. Кучеренко – Х. : ХТУРЕ, 1999. – 100 с.

9. Филлипс, Д. Методы анализа сетей [Текст] / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М. : Мир, 1984. – 496 с.

10. Бодянский, Е.В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем [Текст] / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко, А.И. Михалев. – Дн-ськ : Системні технології, 2005. – 311 с.

11. Борисов, В.В. Нечеткие модели и сети [Текст] / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Феодулов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

12. Глушенкова, И.С. Принятие решений в системах управления земельными ресурсами [Текст] / И.С. Глушенкова // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: матеріали міжнар. наук.-практичн. конф., Харків, березень 2010 р. – Х. : Академія внутрішніх військ МВС України, 2010. – С. 71–72.

13. Глушенкова, И.С. Формальная модель принятия решений о состоянии сложных объектов [Текст] / И.С. Глушенкова // Інформаційно-керуючі системи і комплекси : мат. міжнар. наук.-техніч. конф., Миколаїв, квітень 2010 р. – Миколаїв: ІАЕ НУК, 2010. – С. 5–6.

14. Всеволожский, В.А. Основы гидрогеологии [Текст] / В.А. Всеволожский. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.

15. Кучеренко, Е. И. Метод принятия решений с использованием нечеткой логики в технологиях ArcGIS [Текст] / Е.И. Кучеренко, И. С. Глушенкова, С.А. Глушенков // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2013. – Вип. 2 (109). – С. 55 – 59.

Надійшла до редколегії 16.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФАЗЗИ - МОДЕЛИ В УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Е.И. Кучеренко, И.С. Глушенкова, С.А. Глушенков

Усовершенствована нечеткая сетевая модель, которая, в отличие от существующих, дополнительно включает определенные во времени и пространстве предикаты, относящиеся к пространственным решениям, полученных средствами ГИС-технологий. Определено, что эффективное внедрение разработок, основанных на положениях нечеткой логики, является трудоемким и наукоемким процессами, автоматизация которого средствами ГИС позволит освободить значительные вычислительные и материальные ресурсы.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, пространственные объекты, нечеткая логика.

## GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND FUZZY - MODELS IN MANAGEMENT COMPLEX OBJECTS

E.I. Kucherenko, I.S. Hlushenkova, S.O. Hlushenkov

Improved fuzzy network model, unlike the existing ones, further comprising defined in time and space predicates related to spatial solutions obtained by means of GIS technology. Determined that the effective implementation of development, based on the provisions of fuzzy logic, is labor-intensive and knowledge-intensive processes automation by means of GIS to free significant computational and physical resources.

**Keywords:** Geographic information technology, spatial objects, fuzzy logic.