

УДК 528.482:332.3:519.86

аспіранти: Р.Б. Шульган, О.Є. Янчук,

Національний університет водного господарства та природокористування

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ОСІДАНЬ ТЕРИТОРІЇ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Ключові слова: осідання, моделювання за умов невизначеності.

Пропонується методика оцінки небезпеки осідань територій в населених пунктах методом моделювання за умов невизначеності. Наводиться приклад розрахунків за запропонованою методикою. Виконана перевірка отриманих результатів на основі використання незалежних даних.

Вступ. При управлінні міськими територіями та грошовій оцінці земель і будівель серед інших аспектів значна увага повинна приділятися інженерно-геологічним умовам території. У ході інженерно-геологічних досліджень слід вивчити геологічну будову ділянки, її гідрогеологічні особливості, фізико-механічні властивості ґрунтів, геологічні процеси та явища, можливі зміни інженерно-геологічних умов під дією споруд та будівель [6]. На жаль, в останні роки простежується тенденція до виникнення різних ускладнень при експлуатації будівель, що не в останню чергу пов'язано з неповною комплексною оцінкою території перед початком будівництва та з відсутністю довгострокових прогнозів змін природних компонентів у часі під дією антропогенного чинника [7, 12]. У результаті допущених на передпроектному етапі помилок окремі будівлі руйнуються, у кращому разі це призводить до скорочення терміну експлуатації споруд [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання прогнозування осідань території досить широко висвітлене в науковій літературі. Серед дослідників, що займалися цією проблемою, варто виділити П. Г. Чернягу, Ю. П. Гуляєва, В. М. Ганьшина, В. К. Панкрушина, В. Є. Новака. Найпоширеніші методи для прогнозування розвитку осідань: побудова прогнозної моделі з використанням просторово-часових рядів геодезичних спостережень на основі кореляційно-регресійного аналізу, метод випадкових функцій, метод кореляційного зв'язку між осіданнями та часом. У працях П. Г. Черняги, А. Г. Касянчука, П. Г. Шевердіна також застосовується кореляційний аналіз з метою визначення зв'язку між осіданнями споруд та зміною рівня ґрунтових вод. Проте на сьогодні недостатньо досліджено індивідуальний вплив інших факторів, а також їх загальний вплив на осідання будівель і споруд.

У будівельній практиці існують досить надійні методи розрахунку осідань основ споруд, які використовуються на етапі їх проектування [2]. Однак такі методи недоцільно застосовувати для комплексної оцінки, планування та управління територіями.

Для прийняття оптимальних рішень в реальних умовах землеустрою, за наявності різноманітних об'єктивно існуючих альтернатив необхідно чітко дотримуватися певних технологій та використовувати автоматизовані системи управління. Як математичний інструмент пропонуємо використовувати для цього метод моделювання за умов нечіткої вихідної інформації. Теорія нечітких множин підходить саме для задач прийняття рішень та управління в умовах невизначеності. Одними з перших для вирішення задач землеустрою та кадастру цю теорію використали М. С. Сявавко, П. Г. Черняга, Л. М. Тібілова, Л. В. Корнілов, Б. Д. Бачишин, О. А. Лагоднюк, О. П. Дмитрів.

Теорія нечітких множин – це сукупність теоретичних основ, методів алгоритмів, процедур і програмних засобів, які базуються на використанні нечітких висновків (знань, висловлювань, думок) і оцінок експертів з тих чи інших питань [4]. Тому при оцінці небезпеки осідань території пропонується об'єднати як статистичні, так і експертні дані, що є можливим при використанні даної теорії.

Суть моделювання полягає в наступному [10, 11]. Нехай маємо n факторів A_1, \dots, A_n і нехай $\omega = (\omega_1, \dots, \omega_n)$ – вектор відносних ваг цих факторів, який складається так щоб виконувалась вимога:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1. \quad (1)$$

Вважатимемо, що результати попарного порівняння факторів за вагами описуються відношенням їх ваг. У цьому випадку результати такого попарного порівняння можна подати у вигляді наступної квадратної матриці порядку n :

$$\begin{array}{c|cccc} A_n & I & II & \dots & k \\ \hline I & \frac{\omega_I}{\omega_I} & \frac{\omega_I}{\omega_{II}} & \dots & \frac{\omega_I}{\omega_k} \\ II & \frac{\omega_{II}}{\omega_I} & \frac{\omega_{II}}{\omega_{II}} & \dots & \frac{\omega_{II}}{\omega_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k & \frac{\omega_k}{\omega_I} & \frac{\omega_k}{\omega_{II}} & \dots & \frac{\omega_k}{\omega_k} \end{array}, \quad (2)$$

Для знаходження вектора ω за матрицею відносних ваг A достатньо розв'язати рівняння [10, 11]:

$$(A - nI)\omega = 0, \quad (3)$$

де I – одинична матриця;

ω – вектор відносних ваг факторів, які розглядаються.

Тоді, щоб за матрицею A знайти вектор ваг ω достатньо розв'язати рівняння (3). Оскільки ранг матриці A дорівнює 1, то n – єдине власне число цієї матриці. І, отже, рівняння (3) має ненульовий розв'язок. Але елементи матриці A – це не точні значення відношень ваг факторів, а їх оцінки запропоновані експертами. Тому, замість рівняння (3) потрібно розглядати більш загальне рівняння, яке має наступний вигляд:

$$(A - \lambda_{\max} I)\omega = 0, \quad (4)$$

де λ_{\max} – максимальне власне число матриці A ($\lambda_{\max} \geq n$).

Велика відмінність λ_{\max} від n свідчить про деяку внутрішню неузгодженість оцінок експертом значень елементів матриці A і про необхідність їх перегляду, уточнення. Якщо значення λ_{\max} достатньо близьке до n , то нормований вектор ω – розв'язок рівняння (4) – можна вважати прийнятною оцінкою відносних ваг розглянутих факторів, встановлених за матрицею оцінок A .

У праці [6] теорію нечітких множин використано для впорядкування території промислового майданчика Рівненської АЕС. Обчислено придатність земельної ділянки для розміщення на ній об'єктів та споруд. Для обрахунків ваг придатності ділянок взято фактори потужності підстилаючих порід, глибину їх залягання, рівень ґрунтових вод, штучну цементацію ґрунтів та утворення карстонебезпечних зон. У результаті математичного моделювання за умов невизначеності оцінено придатність ділянок для будівництва АЕС та запропоновано заходи з усунення проявів небезпечних інженерно-геологічних процесів.

Постановка завдання. Мета нашого дослідження полягає у створенні універсальної моделі для оцінки безпеки осідань земної поверхні та перевірки її надійності на основі результатів геодезичних спостережень. За результатами спостережень за такими факторами, як стійкість підстилаючих порід, рівень ґрунтових вод та навантаження від будівлі, проведено розрахунки. Модель дасть можливість оцінювати території та приймати необхідні управлінські рішення для запобігання розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів.

Виклад основного матеріалу. У ході дослідження використано відомості про геологічні розрізи на 9-х свердловинах та дані про зміну рівня ґрунтових

вод у них. Дослідну територію поділено на 9 зон (за кількістю наявних свердловин). У кожній із зон неподалік від свердловини було обрано будівлю, за якою ведуться геодезичні спостереження. Це зроблено, по-перше, для врахування навантаження на ґрунтову основу, а по-друге, щоб мати незалежні дані для перевірки запропонованої методики.

Згідно з рекомендаціями авторів публікацій [1, 8], осідання споруд розглядалося нами в рамках функціонування системи “будівля – середовище”, яка складається з трьох підсистем: основа, маса споруди і вплив зовнішнього середовища. Ці підсистеми використані в дослідженні як фактори оцінки небезпеки осідань. Кожному з них присвоювався свій коефіцієнт:

- *коефіцієнт стійкості підстиляючих порід (A_1)* – обчислювався на основі даних про геологічні розрізи, як величина, обернена сумі добутків розрахункових опорів ґрунтів (брався з документа [9]) на потужність пластів породи;
- *коефіцієнт рівня ґрунтових вод (A_2)* – обраховувався як обернена величина до глибини залягання ґрунтових вод;
- *коефіцієнт навантаження від будівлі (A_3)* – визначався на основі матеріалу споруди та її поверховості з урахуванням пропорційності маси поверху цегляного і панельного будинку.

Вихідні дані, використані для обчислення коефіцієнтів та перевірки отриманих результатів, наведено в табл. 1.

Для обчислення вагових коефіцієнтів за кожним з факторів використано методику, описану в працях [10, 11]. Спочатку уклали оціночні матриці-рядки коефіцієнтів за кожним фактором для обраних зон (див. табл. 2).

Таблиця 1

Вихідні дані для обчислення коефіцієнтів

Показник	Номер зони і значення показника								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Глибина залягання ґрунтових вод, м	7,0	10,5	4,0	4,0	5,0	5,0	4,5	3,5	4,0
Поверховість будівлі	9	9	9	5	5	5	3	5	2
Матеріал будівлі	панель	панель	панель	панель	панель	панель	цегла	панель	цегла
Швидкість осідання, мм/рік	-0,30	-0,79	-1,20	-0,64	-0,40	-0,43	-1,12	-0,21	-0,23

Таблиця 2

Оціночні матриці-рядки

Показник	Номер зони і коефіцієнт								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коефіцієнт стійкості підстилаючих порід	0,025	0,013	0,105	0,060	0,037	0,032	0,143	0,033	0,032
Коефіцієнт рівня ґрунтових вод	0,143	0,095	0,250	0,250	0,200	0,200	0,222	0,286	0,250
Коефіцієнт навантаження від будівлі	4,500	4,500	4,500	2,500	2,500	2,500	3,000	2,500	2,000

Наступним етапом був пошук вагових коефіцієнтів кожної зони за окремими факторами. Кожен фактор розглядався як матриця (2), з наступними позначеннями: A_n – фактор, який досліджується; I, II, \dots, k – номери зон, за якими досліджується відповідний фактор; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k$ – значення коефіцієнтів за кожним фактором.

Матриці, обчислені за формулою (2) згруповано в табл. 3-5.

Характеристичне рівняння матриці має такий вигляд [5]:

$$\lambda^n - \sigma_1 \lambda^{n-1} + \sigma_2 \lambda^{n-2} + \dots + (-1)^{n-1} \sigma_{n-1} \lambda + (-1)^n \sigma_n = 0, \quad (5)$$

де коефіцієнт $\sigma_1 = \sum a_i = SpA$ – слід матриці A ;

коефіцієнт σ_2 – сума всіх діагональних мінорів другого порядку матриці A ;

коефіцієнт $\sigma_n = \det A$.

Таблиця 3

Матриця стійкості підстилаючих порід

	0,025	0,013	0,105	0,060	0,037	0,032	0,143	0,033	0,032
0,025	1,000	1,923	0,238	0,417	0,676	0,781	0,175	0,758	0,781
0,013	0,520	1,000	0,124	0,217	0,351	0,406	0,091	0,394	0,406
0,105	4,200	8,077	1,000	1,750	2,838	3,281	0,734	3,182	3,281
0,060	2,400	4,615	0,571	1,000	1,622	1,875	0,420	1,818	1,875
0,037	1,480	2,846	0,352	0,617	1,000	1,156	0,259	1,121	1,156
0,032	1,280	2,462	0,305	0,533	0,865	1,000	0,224	0,970	1,000
0,143	5,720	11,000	1,362	2,383	3,865	4,469	1,000	4,333	4,469
0,033	1,320	2,538	0,314	0,550	0,892	1,031	0,231	1,000	1,031
0,032	1,280	2,462	0,305	0,533	0,865	1,000	0,224	0,970	1,000

Таблиця 4

Матриця рівня ґрунтових вод

	0,143	0,095	0,250	0,250	0,200	0,200	0,222	0,286	0,250
0,143	1,000	1,500	0,571	0,571	0,714	0,714	0,643	0,500	0,571
0,095	0,667	1,000	0,381	0,381	0,476	0,476	0,429	0,333	0,381
0,250	1,750	2,625	1,000	1,000	1,250	1,250	1,125	0,875	1,000
0,250	1,750	2,625	1,000	1,000	1,250	1,250	1,125	0,875	1,000
0,200	1,400	2,100	0,800	0,800	1,000	1,000	0,900	0,700	0,800
0,200	1,400	2,100	0,800	0,800	1,000	1,000	0,900	0,700	0,800
0,222	1,556	2,333	0,889	0,889	1,111	1,111	1,000	0,778	0,889
0,286	2,000	3,000	1,143	1,143	1,429	1,429	1,286	1,000	1,143
0,250	1,750	2,625	1,000	1,000	1,250	1,250	1,125	0,875	1,000

Таблиця 5

Матриця навантаження від будівлі

	4,500	4,500	4,500	2,500	2,500	2,500	3,000	2,500	2,000
4,500	1,000	1,000	1,000	1,800	1,800	1,800	1,500	1,800	2,250
4,500	1,000	1,000	1,000	1,800	1,800	1,800	1,500	1,800	2,250
4,500	1,000	1,000	1,000	1,800	1,800	1,800	1,500	1,800	2,250
2,500	0,556	0,556	0,556	1,000	1,000	1,000	0,833	1,000	1,250
2,500	0,556	0,556	0,556	1,000	1,000	1,000	0,833	1,000	1,250
2,500	0,556	0,556	0,556	1,000	1,000	1,000	0,833	1,000	1,250
3,000	0,667	0,667	0,667	1,200	1,200	1,200	1,000	1,200	1,500
2,500	0,556	0,556	0,556	1,000	1,000	1,000	0,833	1,000	1,250
2,000	0,444	0,444	0,444	0,800	0,800	0,800	0,667	0,800	1,000

Нехай $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – різні корені рівняння (5). Візьмемо $\lambda = \lambda_j$ та підставимо їх у матрицю. Одержимо:

$$\begin{aligned}
 (a_{11} - \lambda_j)x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= 0; \\
 a_{21}x_1 + (a_{22} - \lambda_j)x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= 0; \\
 \dots & \dots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + (a_{nn} - \lambda_j)x_n &= 0
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Визначник системи $\det(A - \lambda_j E) = 0$. Розв'язки цієї системи і є власними векторами матриці A .

За допомогою програмного комплексу MathCAD Proffesional 2000 обчислено власні вектори матриць, які є ваговими коефіцієнтами кожного з факторів за зонами. Отримані нормовані значення вагових коефіцієнтів представлено у табл. 6.

Таблиця 6

Вагові коефіцієнти

Показник	Номер зони і коефіцієнт								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стійкість підстилаючих порід	0,052	0,027	0,219	0,125	0,077	0,067	0,298	0,069	0,067
Рівень ґрунтових вод	0,075	0,050	0,132	0,132	0,106	0,106	0,117	0,151	0,132
Навантаження від будівлі	0,158	0,158	0,158	0,088	0,088	0,088	0,105	0,088	0,070

Розрахуємо результуючу матрицю вагових коефіцієнтів небезпеки осідання при рівнозначному впливі факторів A_1 , A_2 , A_3 . Результат відображує табл. 7.

Таблиця 7

Результуюча матриця вагових коефіцієнтів небезпеки осідання

Номер зони	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ваговий коефіцієнт небезпеки осідання	0,097	0,081	0,167	0,114	0,091	0,088	0,166	0,104	0,091

Виходячи з отриманих даних, найбільша небезпека осідання земної поверхні та споруд спостерігається в 3-й та 7-й зонах.

Для перевірки надійності результатів дослідження було проведено кореляційний аналіз із використанням незалежних даних геодезичних спостережень за осіданнями будівель, які ведуться протягом 20-ти років. Отримані вагові коефіцієнти небезпеки осідання за зонами порівняли з абсолютними величинами швидкості осідань будівель. Як відомо з праці [3], при числі випробувань < 50 кореляційний зв'язок вважається встановленим, якщо оцінка коефіцієнта кореляції \tilde{r} більша від довжини довірчого інтервалу $I_{\beta}=(r_1; r_2)$, тобто, коли $|\tilde{r}| > r_2 - r_1$. У нашому випадку оцінка коефіцієнта кореляції $\tilde{r}=0,80$, а довірчий інтервал при довірчій імовірності $\beta=0,95$ становить $I_{\beta}=(0,21; 0,96)$. Оскільки нерівність витримується, це свідчить про наявність залежності між величинами вагових коефіцієнтів небезпеки осідання і швидкістю осідань будівель. Графічно результати дослідження представлено на рисунку.

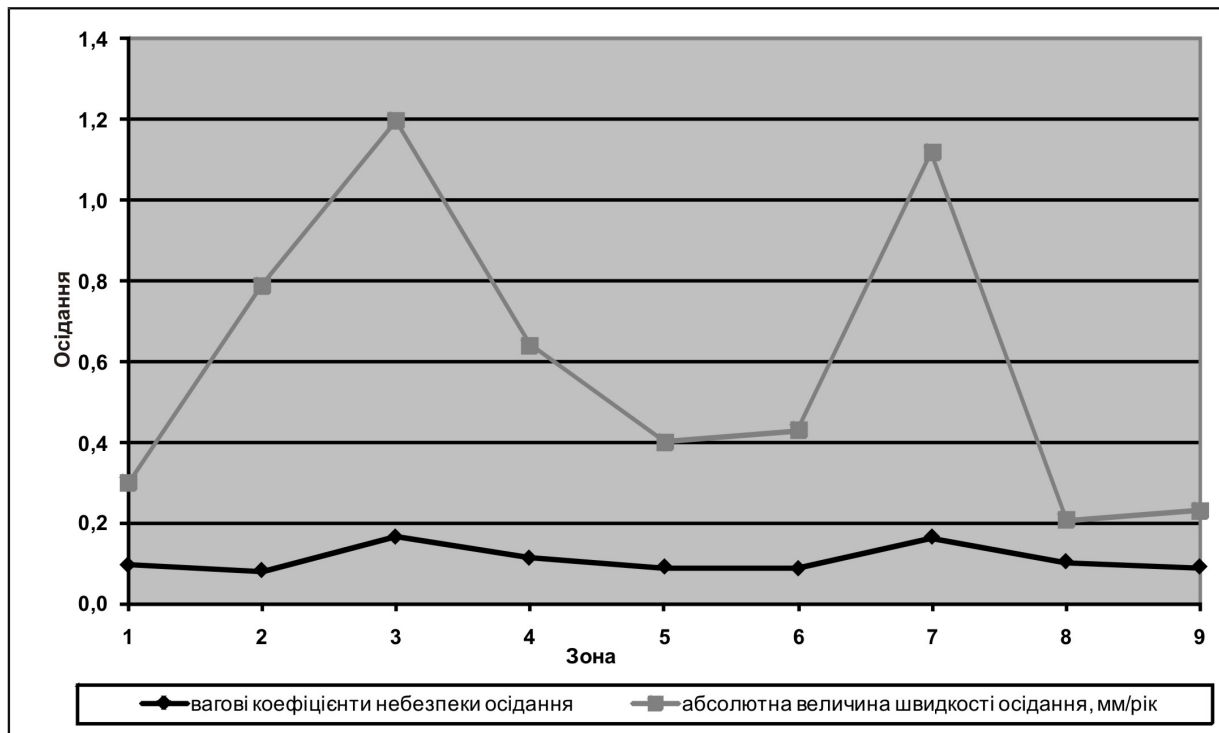


Рис. Зміни вагових коефіцієнтів небезпеки осідання та швидкості осідання за зонами

Висновок. У статті описується методика оцінки небезпеки осідань територій у населених пунктах з використанням теорії нечітких множин. Її надійність перевірено методом встановлення кореляційної залежності між ваговими коефіцієнтами небезпеки осідання та абсолютними величинами швидкості осідання, отриманими за результатами 20-річних геодезичних спостережень. Методика може знайти застосування при плануванні забудови населених пунктів, управлінні територіями, грошовій оцінці земель та нерухомості.

Література

1. Андреева Ф.В., Борисенков Б.Г., Бузятков В.Г., Сытник В.С. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства. – М.: Недра, 1988. – 270 с.
2. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – 367 с.
3. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. – М.: Недра, 1977. – 367 с.
4. Гудзинський О.Д., Козловський С.В., Герасименко Ю.В. Комплексна оцінка інвестиційного клімату сільського господарства районів Вінницької області з використанням теорії нечіткої логіки – [http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/VANP/visnik_2007-4\(43\).pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/VANP/visnik_2007-4(43).pdf).

5. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики: Учеб. пос. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
6. Дмитрів О.П., Черняга П.Г. Впорядкування території промислового майданчика Рівненської АЕС за умов нечіткої вихідної інформації // Інж. геодез. – 2001. – Вип. 45. – С. 234-242.
7. Козарь Л.М. Формування землекористувань в населених пунктах залежно від інженерно-будівельної оцінки територій // Вісн. НУВГП. – Рівне. – 2007. – Вип. 4(40). – С. 192-199.
8. Кулешов Д.А., Гуляев Ю.П. Некоторые задачи и методологические принципы математического моделирования деформаций оснований сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодез. и аэрофотосъемка. – М.: МИИГАиК. – 1976. – № 4. – С. 7-11.
9. СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений – <http://www.vashdom.ru/snip/20201-83>.
10. Снітинський В., Сявавко М., Сохнич А. Землекористування та екологія: системи підтримки прийняття рішень. – Л.: Укр. технології, 2002. – 584 с.
11. Сявавко М.С., Рибіцька О.М. Математичне моделювання за умов невизначеності. – Л.: Укр. технології, 2000. – 319 с.
12. Черняга П., Бухальська Т., Люсак А. Оптимізаційна модель врахування небезпечних фізико-геологічних процесів при формуванні землекористувань міста // Сучасні досягн. геодез. науки та вир-ва: Зб. наук. пр. – Л.: Ліга-Прес. – 2009. – Вип. 1(17). – С. 278-288.

Аннотация

Предлагается методика оценки опасности осадок территорий в населенных пунктах методом моделирования при условиях неопределенности. Приводится пример расчетов по предложенной методике. Выполнена проверка полученных результатов на основе использования независимых данных.

Summary

The method of settlement area sagging risk estimation is suggested to conduct by modelling under the conditions of indetermination. An example of calculations on the basis of this method is given. The verification of the results obtained on the basis of independent information is executed.