

DOI: 10.32347/2412-9933.2020.42.113-118

УДК 347.94: 004.89: 044.82

Пасько Роман МиколайовичЗавідувач лабораторії інженерно-технічних видів досліджень, orcid.org/0000-0002-3313-0368

Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, Київ

Азнаурян Ірина ОлександрівнаДоцент кафедри фізики, orcid.org/0000-0002-7085-7291

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Теренчук Світлана АнатоліївнаКандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектуванні та прикладної математики, orcid.org/0000-0001-6527-4123

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

АДАПТАЦІЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ ДО ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ РЕМОНТНО-БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА

Анотація. Об'єктом дослідження в цій роботі є процес проведення судових будівельно-технічних експертиз та експертних досліджень з оцінки впливу ремонтно-будівельних робіт на технічний стан поряд розташованих об'єктів будівництва. Основним завданням, на вирішення якого орієнтована робота, є автоматизація процесу експертної оцінки міри впливу ремонтно-будівельних робіт на технічний стан об'єктів, поряд з якими були проведені або проводяться ці роботи. Автоматизація експертної діяльності в цій галузі передбачає розробку та використання системи нечіткого виведення. На цих етапах створення системи виникає завдання її адаптації до розв'язання задачі, що ставиться перед системою. Адаптація системи нечіткого виведення передбачає розв'язання питань інтерпретації знань, фазифікації та дефазифікації даних, встановлення ступеня неповноти простору вхідних даних та вибору альтернативних напрямів пошуку в просторі можливих рішень. В цій роботі вирішуються зазначені питання обробки вхідних даних. При цьому особлива увага приділяється дослідженню чітких параметрів пошкодження об'єкта, та нечітких характеристик такого фактора впливу, як просідання ґрунтів на території розташування майданчика об'єкта. При моделюванні системи враховується можливість впливу факторів середовища, що не пов'язані з ремонтно-будівельними роботами. Це означає, що при відповідному навчанні система нечіткого виведення може використовуватися для прогнозування міри впливу будь-яких факторів антропогенного чи природного характеру на технічний стан об'єктів будівництва. Практичне значення роботи полягає в скороченні термінів проведення та підвищенні надійності оцінок, що виконуються в умовах композиційної невизначеності.

Ключові слова: параметри пошкодження; просідання ґрунтів; система нечіткого виведення; судова будівельно-технічна експертиза

Вступ

Об'єктом дослідження є процес проведення судових будівельно-технічних експертиз (СБТЕ) та експертних досліджень (ЕД) з оцінки впливу ремонтно-будівельних робіт (РБР) на технічний стан (ТС) поряд розташованих об'єктів.

Матеріалом дослідження є процес нечіткого виведення в системі підтримки судових будівельно-технічних експертиз (СПСБТЕ).

Методи дослідження:

- георадіолокація;
- системний аналіз параметрів пошкодження об'єкта та результатів геодезичних вимірювань;
- нечітка математика.

Галуззю практичного застосування результатів досліджень є судово-експертна діяльність в межах проведення будівельно-технічних експертиз з визначення можливих причин погіршення технічного стану об'єктів.

Об'єктами в цій роботі називаються об'єкти будівництва, що являють собою конструктивні елементи будівель та окремих їх приміщень, які стали предметом судових будівельно-технічних експертиз.

Мета статті

Метою роботи є адаптація системи нечіткого виведення системи підтримки судових будівельно-технічних експертиз до задачі оцінки міри впливу

ремонтно-будівельних робіт на технічний стан об'єкта, який став предметом судової будівельно-технічної експертизи.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- систематизувати попередні дослідження, що проведені в цьому напрямі;
- здійснити фазифікацію геометричних параметрів пошкоджень об'єкта, що відображають негативні зміни його ТС;
- здійснити фазифікацію факторів впливу зовнішнього середовища, що могли спричинити погіршення ТС об'єкта, що став предметом СБТЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нечітка невизначеність вважається однією з основних проблем, що ускладнює проведення СБТЕ та ЕД зі встановлення можливого зв'язку між погіршенням ТС об'єктів і РБР, які проводились поряд. При цьому ТС об'єктів часто залежить від прихованих дефектів і прихованих причин погіршення ТС. Це суттєво ускладнює формування вектора вхідних даних при формуванні експертних висновків з встановлення можливого зв'язку між погіршенням технічного стану об'єктів і РБР, які проводились поряд [1].

Приховані дефекти є внутрішніми факторами, що впливають на формування повної групи можливих причин погіршення ТС об'єкта, який перебуває під впливом різних зовнішніх факторів [2].

Приховані причини можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми факторами, що також можуть спричинити погіршення ТС предмета СБТЕ, але з різних причин не розглядалися в повній групі апіорних гіпотез [2; 3].

Саме тому, первинна інформація, що міститься в матеріалах, які надані на дослідження, може характеризуватись такими нечіткими факторами, як неповнота або ненадання всіх необхідних вихідних даних. У подальшому ці фактори можуть призвести до багатозначності інтерпретації вихідних даних та суперечливості висновків [3; 4].

Для подолання невизначеності, якою може характеризуватись первинна інформація, на заявлене клопотання експерта надаються додаткові матеріали. Після опрацювання отриманих в установленому законом порядку від конфліктуючих учасників справи нових фактів і описів подій може з'ясуватись, що додана інформація спростовує отримані раніше висновки. В результаті такої трансформації знань виникає прецедент, який полягає в неможливості прийняття правильних висновків, і виникає потреба в набутті та дослідженні додаткової інформації на повторно заявлене клопотання експерта [1; 5].

Таким чином, немонотонність логіки є однією з основних причин затягування строків проведення СБТЕ, оскільки поточна вхідна інформація може неодноразово змінюватися. В таких умовах існує потреба в автоматизації експертної діяльності шляхом впровадження в процес проведення СБТЕ таких систем, які здатні функціонувати в частково спостереженому середовищі [4; 6].

Для розв'язання задач з не цілком визначеними даними і знаннями розробляються довшзначальні експертні системи [6; 7].

Проте при розробці таких систем виникають питання [3; 7]:

- інтерпретації знань;
- фазифікації і дефазифікації даних;
- встановлення ступеня неповноти простору вихідних даних;
- вибору альтернативних напрямів пошуку в просторі можливих рішень.

Принцип побудови нечітких імплікацій, які відображають логіку формування експертних висновків щодо оцінки міри впливу РБР на ТС об'єкта, що став предметом СБТЕ, детально описані в роботах [3; 8].

При цьому відзначається, що системи виведення з нечіткою логікою (рис. 1), які будуються із застосуванням нечітких імплікацій, є зручним інструментом для пояснення логіки системи згідно з її внутрішньою моделлю [4; 5].

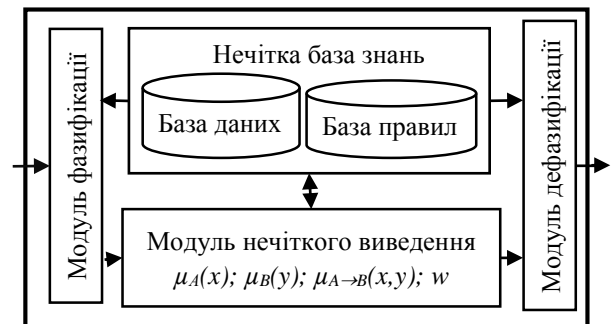


Рисунок 1 – Модель системи нечіткого виведення

На рис. 1 прийнято такі позначення: x та y – вхідна і вихідна змінні, що задані на області визначення нечіткого правила X і області визначення виведення Y ; A і B – висловлювання, що визначені на X і Y з мірами приналежності $\mu_A(x) \in [0,1]$ і $\mu_B(y) \in [0,1]$; $\mu_{A \rightarrow B}(x,y)$ – міри приналежності нечітких імплікацій; w – вагові коефіцієнти, які відображають міру впевненості експерта в правилах, що наповнюють базу правил системи нечіткого виведення.

Одним із суттєвих недоліків систем нечіткого виведення є те, що вони не здатні автоматично здобувати знання для використання в механізмах виведення [7; 9].

Для вирішення цієї проблеми розробляються штучні нейромережі, впровадження яких в систему

нечіткого виведення надає можливість виконувати виведення на основі апарату нечіткої логіки, а функції приналежності налаштувати за допомогою штучних нейромереж [3; 7]. Але використання нейро-нечітких моделей передбачає наповнення нечіткої бази знань спеціальними знаннями, що формують логіку застосування [6; 7].

В роботах [3; 8 – 10] досліджувались різні питання розробки та впровадження в судову та слідчу практику СПСБТЕ з інтегрованою штучною нейро-нечіткою мережею категорії *Cascade ARTMAP*.

Пропонована робота є продовженням цих досліджень.

Виклад основного матеріалу

В роботі [10] запропоновано концептуальну модель експертної системи оцінки, яка передбачає впровадження в підсистему нечіткого виведення СПСБТЕ штучних нейронних мереж для оцінки міри впливу РБР на ТС об'єкта, що став предметом СБТЕ.

У [8] досліджено процес оцінки ТС об'єктів, що стали предметом СБТЕ та обґрунтовано використання в СПСБТЕ штучних нейро-нечітких мереж категорії *Cascade ARTMAP* [12].

У [8] також показано принцип формалізації геометричних параметрів пошкоджень об'єктів, які є підмножиною множини вхідних даних (X).

У роботах [3; 8; 9] проведено аналіз процесів нечіткого виведення і формалізації евристичної діяльності експертів, а саме:

- описано процес представлення експертних висновків з оцінки впливу РБР на ТС поряд розташованих об'єктів у вигляді нечітких імплікацій;

- формалізовано лінгвістичні оцінки вихідної змінної (Y), що відображає міру можливого зв'язку між РБР та погіршенням ТС об'єктів, що стали предметом судових будівельно-технічних експертиз, у вигляді списку з явним переліком кортежів:

$$y = \{(d_1, \mu^k_B(d_1)), \dots, (d_j, \mu^k_B(d_j)), \dots, (d_4, \mu^k_B(d_4))\}, \quad (1)$$

де d_j ($j=1, \dots, 4$) – нечіткий терм лінгвістичної оцінки вихідної змінної y , що використовується для оцінювання категорії ТС; $\mu^k_B(d_j)$ – міра приналежності k -го пошкодження ($k=1, \dots, K$) j -й категорії технічного стану об'єкта;

- обґрунтовано доцільність використання max-min композиції для формалізації асоціативного мислення експертів при формуванні висновків щодо можливого впливу РБР на ТС об'єкта;

- показано схему функціонування *Cascade ARTMAP* в СПСБТЕ.

Проте, слід зазначити, що використання *Cascade ARTMAP* потребує відображення на початкову карту пам'яті мережі апріорних (експертних) знань. А це, своєю чергою, передбачає інтерпретацію вхідних змінних.

Змінні, що свідчать про негативні зміни ТС об'єкта, поруч з яким проводились чи проводяться РБР, встановлюються за результатами візуально-інструментального обстеження та фіксуються фотозйомкою і наносяться на відповідні схеми (рис. 2).

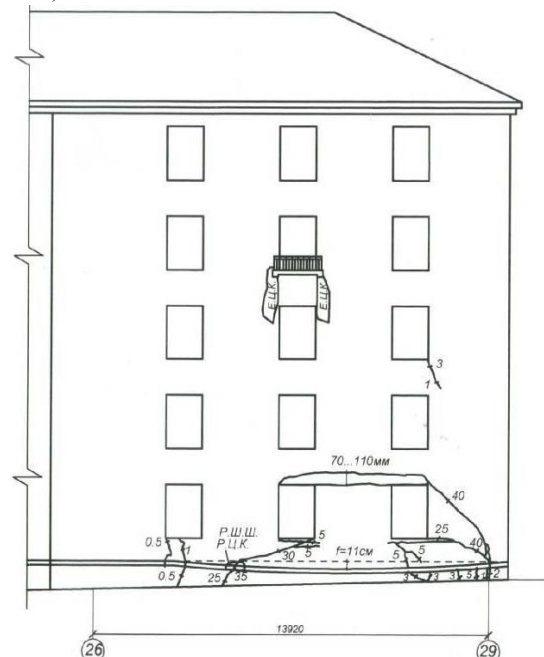


Рисунок 2 – Фрагмент схеми предмета СБТЕ

Для відображення геологічної (інженерно-геологічної) будови території розташування майданчика об'єкта використані інженерно-геологічні розрізи інженерно-геологічних вишукувань (рис. 3).

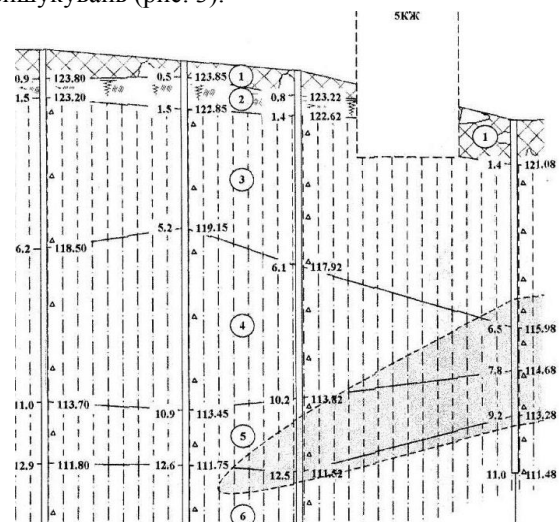


Рисунок 3 – Фрагмент схеми інженерно-геологічного розрізу території розташування майданчика об'єкта

При інтерпретації на розрізах виділялись аномальні області, що характерні для локальних неоднорідностей в ґрунті.

Для характеристики чітких геометричних параметрів пошкоджень об'єкта використовуються відносні різниці параметрів тріщини (2) та граничні величини деформацій будівлі сумісно з основою (3).

Відносні різниці параметрів тріщини:

$$\delta x_n = \frac{\Delta x_n}{x_n^k}, \quad (2)$$

де $\Delta x = x_n^k - x_n^n$; x_n^k та x_n^n – кінцеве та початкове чітке значення n -го параметра, що відображає зміни ТС об'єкта, поруч з яким проводились РБР, являють собою параметри пошкоджень і дефектів (рис.2).

У табл. 1 надано приклади опрацювання вхідних змінних, які свідчать про негативні зміни ТС об'єкта, що став предметом СБТЕ.

Максимальне осідання деформацій будівлі сумісно з основою ($s_{max.u}$) визначаються на основі результатів геодезичних вимірювань і порівнюється з допустимими нормами (граничними) значеннями максимального осідання ($s_{гр}$) згідно з [12]:

$$ms = \Delta s = s_{гр} - s_{max.u}. \quad (3)$$

Відносна різниця осідань двох сусідніх точок фундаментів являє собою різницю абсолютних величин осідань (Δs) цих точок, віднесена до відстані між ними (l):

$$vs = (\Delta s/l)_u. \quad (4)$$

У табл. 2 надано приклад інтерпретації та фазифікації вхідних змінних (Z), які характеризують один із факторів впливу середовища, що з великою ймовірністю міг спричинити негативні зміни ТС предмета СБТЕ [12, 13].

Після встановлення множини суттєвих факторів впливу середовища на появу і розвиток пошкоджень,

що спостерігались чи спостерігаються під час виконання РБР лишається питання щодо:

- надійності оцінки міри їх впливу на появу чи розвиток цього пошкодження;
- ступеня повноти простору вхідних даних.

Якщо при формуванні поточних висновків виявляється, що:

$$\sum_i^4 \mu_B^k(dj) \ll 1, \quad (4)$$

то це означає, що модель, на основі якої формується висновок, неадекватно відображає реальну ситуацію. При цьому можливі помилки специфікації моделі двох типів.

Обидва типи помилок урахувались при виборі штучної нейронної мережі для формування нейро-нечіткої системи виведення. До помилок першого типу належать ненадійність оцінки мір приналежності вхідних змінних, які характеризують можливий вплив середовища на ТС об'єкта. Це питання вирішується шляхом використання евристик прив'язки з подальшим налаштуванням мір приналежності ($\mu_A(x)$) в процесі навчання *Cascade ARTMAP* без нарощування правил [14].

Помилки другого типу полягають в тому, що з великою ймовірністю:

- існують причини погіршення ТС об'єкта, які залишились поза увагою експертів;
- не враховано сумісний вплив факторів середовища при формуванні повної групи подій, що могли спричинити погіршення ТС об'єкта.

Таблиця 1 – Приклади обробки вхідних змінних, які свідчать про погіршення ТС об'єкта

№	Параметри пошкоджень, які свідчать про погіршення ТС об'єкта ($Q = \{x_1; \dots; x_n\}$)				
	Вид пошкодження	Параметр	Чіткий параметр	Терм	Міра приналежності ($\mu^k_A(p_j)$)
1	Тріщина ($k=1$)	глибина ($n=7$) ширина ($n=8$) довжина ($n=9$) напрямок ($n=10$)	δx_7 δx_8 δx_9 δx_{10}	p_j	$\mu^k_A(p_j)$ $k=1; j=3$
2	Граничні величини деформацій будівлі сумісно з основою ($k=2$)	максимальне осідання ($n=11$) відносна різниця осідань ($n=12$)	δx_{11} δx_{12}	ms_j vs_j	$\mu^k_A(ms_j)$ $\mu^k_A(vs_j)$ $k=2; j=4$
...

Таблиця 2 – Приклад обробки вхідної змінної, що характеризує можливий вплив середовища

№	Характеристики впливу середовища, які могли спричинити погіршення ТС об'єкта ($Z = \{x_{n+1}; \dots; x_l\} = \{g_1; \dots; g_l\}$)				
	Фактори впливу	Нечітка семантика	Параметр	Терм (узагальнена характеристика)	Міра приналежності
1	Просідання ґрунтів внаслідок замочування (Z)	геологічна будова	g_1	$u_m, m=1, \dots, 6$: $m=1$ – несуттєвий $m=2$ – помірний $m=3$ – середній $m=4$ – значний $m=5$ – граничне $m=6$ – перевищує граничне	$\mu^k_A(u_m)$ $(k=1; m=6)$
глибина шару ґрунту		g_2			
потужність шару ґрунту		g_3			
гідрогеологічні умови		g_4			
просідні властивості ґрунту		g_5			
вологість (замочування) ґрунту		g_6			
2

Вирішення цих питань потребує навчання *Cascade ARTMAP* з учителем [14]. І саме здатність *Cascade ARTMAP* навчатись на етапі експлуатації стала вирішальною при виборі штучної нейронної мережі для імплементації в галузь судово-експертної діяльності в межах проведення будівельно-технічних експертиз з визначення можливих причин погіршення технічного стану об'єктів.

Висновки

1. СПСБТЕ, що розробляється, призначена для обґрунтування експертних висновків про можливий зв'язок між появою негативних змін технічного стану об'єктів і впливом ремонтно-будівельних робіт, що проводились поряд. Саме тому, особлива увага приділяється питанням адаптації системи нечіткого

виведення до задачі оцінки міри впливу ремонтно-будівельних робіт на технічний стан об'єктів, які стануть предметом судових будівельно-технічних експертиз.

2. При моделюванні системи урахується можливість впливу факторів середовища, що не пов'язані з ремонтно-будівельними роботами. Це означає, що при відповідному навчанні штучної нейронної мережі подібна експертна система може використовуватись для прогнозування міри впливу на технічний стан об'єктів будівництва будь-яких факторів антропогенного чи природного характеру. Подальші роботи планується спрямувати на дослідження методів і алгоритмів відображення нечіткої бази знань системи нечіткого виведення СПСБТЕ на карту пам'яті *Cascade ARTMAP*.

Список літератури

1. Аналіз впливу ремонтно-будівельних робіт в приміщенні на технічний стан суміжних приміщень: звіт про НДР (заключний) / КНДІСЕ; керівник: Д. Псярнецький, викон.: С. Асаулюк, Н. Фіщук, Р. Пасько. Київ, 2006. – 39 с.
2. Terenchuk, S., Pashko, A., Yeremenko, B., Kartavykh, S., Ershova, N. (2018) *Modelling an Intelligent System for the Estimation of Technical State of Construction Structures. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (93)), 47 – 53, doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132587>.
3. Pasko, R., Terenchuk, S. (2020) *The Use of Neuro-Fuzzy Models in Expert Support Systems for Forensic Building Technical Expertise. ScienceRise ISSN: 2313-8416*, 2(67), 10 – 18, doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001278>.
4. Більчук В.М., Дзевєрін І.Г., Воробійов О.В. (2012) Методичний підхід опису функціонування складної системи в нечіткому стохастично невизначеному середовищі. Збірник наукових праць ХУПС. Х.: ХУПС, вип. 4(33). С. 136-140.
5. Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели процесса принятия адаптивных решений композиционной структуры с детерминированными и вероятностными характеристиками // Харьков: Радиоэлектроника и информатика. – 2002, № 4. – С. 123 – 127.
6. Markechová, D.; Riečan, B. Logical Entropy of Fuzzy Dynamical Systems. *Entropy* 2016, 18, 157. [CrossRef] 252. *Mathematics*, 6, 50.
7. Субботин С. А. (2006) Синтез распознающих нейро-нечетких моделей с учетом информативности признаков. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, № 10. – С. 50 – 56.
8. Kulikov, P., Pasko, R., Terenchuk, S., Ploskiy, V., Yeremenko, B. (2019) *Using of Artificial Neural Networks in Support System of Forensic Building-Technical Expertise. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075*, Vol. 9, Issue 4, 3162 – 3168.
9. Mamdani, E. H., Gaines, B. R. (1981). *Fuzzy Reasoning and Its Applications*. Academic Press, Inc, 381.
10. Куліков, П.М. Застосування штучних нейронних мереж в експертних системах підтримки судових будівельно-технічних експертиз / П.М. Куліков, Р.М. Пасько, В.О. Плоский, С.А. Теренчук // *Управління розвитком складних систем*. – 2019. – № 40. – С. 118 – 124.
11. G. A. Carpenter, S. Grossberg, N. Markuzon, J. H. Reynolds, and D. B. Rosen, *Fuzzy ARTMAP: A Neural-Network Architecture for Incremental Supervised Learning of Analog Multidimensional Maps*, *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 3, pp. 698 – 713, 1992.
12. Національний стандарт України: Настанова щодо проектування будівель і споруд на просідаючих ґрунтах. ДБН В.1.1-44:2016. Наказ Міністерства від 02.07.2016 р. № 214, чинний з 2017-04-01. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65836.
13. Клапченко, В.И. Исследование кинетики диффузии влаги и льдистости в процессе одностороннего замораживания бетона / Клапченко В.И., Краснянский Г.Е, Азнаурян И.А., Дугинов В.Е // *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін*. -К., КНУБА, 2012.-Вип. 44. – 587 с.
14. Ah-Hwee Tan (1997) *Cascade ARTMAP: Integrating Neural Computation and Symbolic Knowledge Processing. IEEE Transactions on neural networks*, Vol. 8, Issue 2, P. 237 – 250.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2020

Pasko Roman

Head of Laboratory of Engineering and Technical Research, orcid.org/0000-0002-3313-0368

Kyiv Scientific Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine, Kyiv

Aznavarian Iryna

Associate prof. of physic demertment, orcid.org/0000-0002-7085-7291

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Terenchuk Svitlana

PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor of Department of Information Technology Design and Applied

Mathematics, orcid.org/0000-0001-6527-4123

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

ADAPTATION OF FUZZY INFERENCE SYSTEM TO THE TASK OF ASSESSMENT OF THE IMPACT OF REPAIR-BUILDING WORKS ON THE TECHNICAL CONDITION OF THE CONSTRUCTION OBJECT

Abstract. The object of research in this work is the process of conducting forensic construction and technical examinations and expert studies to assess the impact of repair and construction works on the technical condition of nearby construction sites. The main task, the solution of which the article is oriented, is to automate the assessment of the influence measure of repair-building work on the technical condition of construction objects, near to which these works were or are being carried out. Automation of expert activity in this field involves the development and use of a fuzzy inference system. At these stages of creating a system there is a task of its adaptation to the solution of the problem facing the system. Adaptation of the fuzzy inference system involves solving the problems of knowledge interpretation, fuzzyfication and defuzzyfication of data, establishing the degree of incompleteness of the input data space and the choice of alternative search directions in the space of possible solutions. This paper addresses these issues of input data processing. At the same time, special attention is paid to the study of clear parameters of damage to the object, and vague characteristics of such a factor of influence as subsidence of soils in the location of the site. When modeling the system, the possibility of the influence of environmental factors that are not related to repair and construction work is taken into account. This means that with proper training, a fuzzy inference system can be used to predict the extent to which any anthropogenic or natural factors affect the technical condition of construction sites. The practical significance of the work is to reduce the time and increase the reliability of assessments performed in conditions of compositional uncertainty.

Key words: parameters of damage, subsidence of soils, fuzzy inference system; forensic building technical expertise.

References

1. Analysis of the impact of repair and construction works in the premises on the technical condition of adjacent premises: report on research (final). (2006). KNDISE; head: D. Psyarnetsky. Kyiv, 39.
2. Terenchuk, S., Pashko, A., Yeremenko, B., Kartavykh, S., & Ershova, N., (2018). Modelling an Intelligent System for the Estimation of Technical State of Construction Structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (93)), 47 – 53. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132587>.
3. Pasko, R., & Terenchuk, S., (2020). The Use of Neuro-Fuzzy Models in Expert Support Systems for Forensic Building Technical Expertise. *ScienceRise*, 2 (67), 10 – 18. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001278/>
4. Bilchuk, V.M., Dzeverin, I.G., & Vorobyov, O.V., (2012). Methodological approach describing the operation of a complex system in a fuzzy stochastic indeterminate environment. *Collection of scientific works of HUPS. H.: HUPS*, 4 (33), 136-140.
5. Snityuk, V.E., Rifat, Mohammed Ali, (2002). Models of the adaptive decision-making process of a compositional structure with deterministic and probabilistic characteristics. *Radioelectronics and Informatics*, 4, 123 – 127.
6. Markechová, D., Riečan, B., (2016). Logical Entropy of Fuzzy Dynamical Systems. *Entropy*, 18, 157. [CrossRef] 252. *Mathematics*, 6, 50.
7. Subbotin, S.A., (2006.) Synthesis of recognizing neuro-fuzzy models with regard to information content attributes. *Neurocomputers: development, application*, 10, 50-56.
8. Kulikov, P., Pasko, R., Terenchuk, S., Ploskyi, V., & Yeremenko, B., (2019) Using of Artificial Neural Networks in Support System of Forensic Building-Technical Expertise. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9, 4, 3162 – 3168.
9. Mamdani, E.H., & Gaines, B.R., (1981). *Fuzzy Reasoning and Its Applications*. Academic Press, Inc, 381.
10. Kulikov, P., Pasko, R., Terenchuk, S., Ploskyi, V., & Yeremenko, B., (2019). Using of Artificial Neural Networks in Support System of Forensic Building-Technical Expertise. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9, 4, 3162 – 3168.
11. Carpenter, G.A., Grossberg, S., Markuzon, N., Reynolds, J.H. & Rosen, D.B. (1992). Fuzzy ARTMAP: A Neural-Network Architecture for Incremental Supervised Learning of Analog Multidimensional Maps, *IEEE Trans. Neural Networks*, 3, 698–713.
12. National Standard of Ukraine: Guidelines for the design of the buildings and the construction on subsisting ground. DBN V.1.1-44: 2016. Order to the Ministry of Foreign Affairs dated 02.07.2016 No. 214, ruling from 2017-04-01. Access mode: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65836.
13. Klapchenko, V.I., Krasnyansky, G.E., Aznauryan, I.A., & Duginov, V.E., (2012). A study of the kinetics of moisture diffusion and ice content in the process of unilateral freezing of concrete. *Urban planning and spatial planning: science and technology digest*, 44, 587.
14. Ah-Hwee, Tan, (1997). Cascade ARTMAP: Integrating Neural Computation and Symbolic Knowledge Processing. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 8, 2, 237 – 250.

Посилання на публікацію

- APA Pasko, R., Aznauryan, I. & Terenchuk, S. (2020). Adaptation of fuzzy inference system to the task of assessment impact of repair-building works on the technical condition of the construction object. *Management of Development of Complex Systems*, 42, 113 – 118, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.113-118.
- ДСТУ Пасько Р.М. Адаптація системи нечіткого виведення до задачі оцінки впливу ремонтно-будівельних робіт на стан об'єкта будівництва [Текст] / Р.М. Пасько, І.О. Азнаурян, С.А. Теренчук // *Управління розвитком складних систем*. – 2020. – № 42. – С. 113 – 118. dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.113-118.