

УДК 69:002;69.059

### **Терентьев Александр Александрович**

Кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій, [orcid.org/0000-0001-6995-1419](https://orcid.org/0000-0001-6995-1419)  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

### **Шабала Євгенія Євгенівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій,  
[orcid.org/0000-0002-0428-9273](https://orcid.org/0000-0002-0428-9273)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

### **Баліна Олена Іванівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, [orcid.org/0000-0002-2928-8459](https://orcid.org/0000-0002-2928-8459)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

### **Доля Олена Вікторівна**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, [orcid.org/0000-0003-2503-2634](https://orcid.org/0000-0003-2503-2634)

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## **ПОБУДОВА ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ**

***Анотація.** Розглянуто моделі діагностики відмов будівельних конструкцій будівель та вибір стратегії їх відновлення в умовах невизначеності. Вирішення цих завдань дозволить значно підвищити ефективність функціонування об'єктів будівництва за рахунок зниження кількості відмов. Для забезпечення надійності будівель необхідним є комплексний аналіз процесів накопичення пошкоджень, контроль експлуатаційних характеристик. Це вимагає розробки методів і засобів діагностування роботи об'єктів, що досліджуються. В задачах діагностики, прийняття рішень може бути забезпечено за допомогою діагностичних моделей різних типів, в яких використовуються наближені міркування, що базуються на нечіткій логіці. При різних впливах на конструкції під час експлуатації проводиться ідентифікація дефектів і оцінюється прогноз їх розвитку. У свою чергу, розробка діагностичних моделей є основою бази знань експертних систем. Розглянуті діагностичні моделі можуть бути використані для формування бази знань і діагностування будівельних конструкцій.*

***Ключові слова:** надійність будівель; стратегія відновлення; лінгвістичні діагностичні моделі; нечіткі правила; нейронні мережі; бази знань*

### **Актуальність та аналіз проблеми**

Для забезпечення надійності будівель необхідним є комплексний аналіз процесів накопичення пошкоджень, контроль експлуатаційних характеристик. Це вимагає розробки методів і засобів діагностування роботи об'єктів, що досліджуються.

Реалізація даного підходу можлива у разі використання інтелектуальних систем, що дозволяють у режимі реального часу здійснювати аналіз поточного стану об'єкта, прогнозувати розвиток дефектів, пропонувати рекомендації щодо подальшої експлуатації, проводити коригування наявних планів відновлювальних заходів.

Протягом усього періоду експлуатації будівель здійснюється рішення задачі технічної діагностики.

### **Мета статті**

Головною метою розробки є створення моделі діагностування відмов будівельних конструкцій будівель та вибір стратегії їх відновлення в умовах невизначеності. Для цього необхідно вибрати стратегію відновлення, яка буде враховувати інформацію про дефекти різної природи, в тому числі і таких, опис яких не може бути чітко формалізований, а також неточність ідентифікації дефектів і імовірнісну природу виникнення відмов об'єкта, що експлуатується.

### **Виклад основного матеріалу**

Для побудови діагностичної моделі R необхідно встановити залежність, що відображає правило (p)

відображення вектора діагностичних ознак у множині потенційно можливих станів об'єкта, який діагностується  $D^*$ :

$$R: \bar{X} \xrightarrow{\pi} D^*$$

$$\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n, \dots, X_N)$$

$$D^* = \{D_1^*, D_2^*, \dots, D_i^*, \dots, D_L^*\}. \quad (1)$$

Розглянемо послідовність розв'язання задач діагностики об'єкта, що експлуатується, і можливість використання результатів діагностування, їх взаємозв'язок із завданнями забезпечення надійності функціонування об'єкта, що наведено на рисунку. У вигляді схеми відображені етапи функціонування об'єкта протягом його експлуатації, існування та облік результатів діагностування для корекції планової стратегії відновлення.

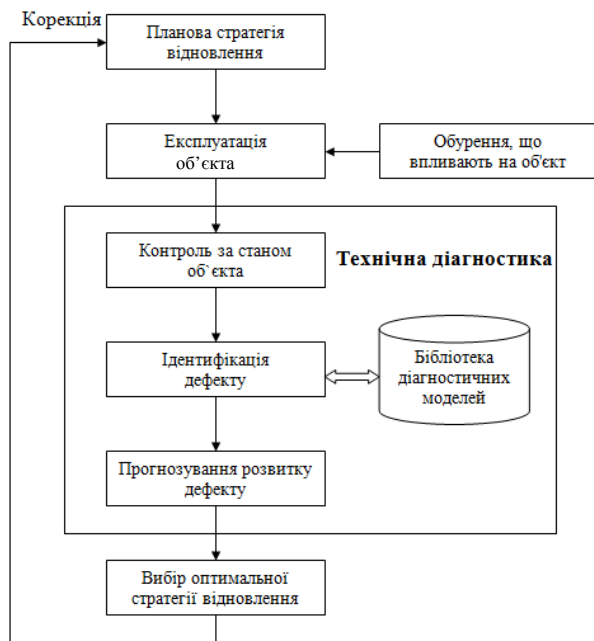


Рисунок – Алгоритм функціонування об'єкта будівлі

В задачах діагностики, прийняття рішень може бути забезпечено за допомогою діагностичних моделей різних типів, в яких використовуються наближені міркування, що базуються на нечіткій логіці. У свою чергу, розробка діагностичних моделей є основою бази знань експертних систем.

Побудова діагностичних моделей об'єкта визначається конструктивними і функціональними особливостями, характером прояву порушень нормального функціонування, появою різного типу відмов.

В якості можливих підходів для діагностики відмов об'єкта дослідження можна використовувати побудову таких діагностичних моделей:

1. Діагностичні моделі у вигляді таблиці несправностей.
2. Чіткі лінгвістичні діагностичні моделі.
3. Нечіткі лінгвістичні діагностичні моделі.

4. Діагностичні моделі у вигляді нечітких нейронних мереж.

При складанні діагностичних моделей необхідно виконати аналіз даних за особливостями експлуатації об'єкта та результатами його обстеження. У тому випадку, коли доцільно використання операцій булевої алгебри, існують чіткі логічні зв'язки між діагностичними ознаками і відмовами об'єкта, можливе застосування діагностичних моделей перших двох типів. Так, для діагностичної моделі найбільш зручна підготовка даних у вигляді табл. 1, де рядки містять інформацію про можливі дефекти, а в стовпцях розміщена інформація діагностичних ознак, відповідних відмов об'єкта.

Таблиця 1 – Діагностична модель у вигляді таблиці несправностей

Відмови \ Діагностичні ознаки	Ознака 1	Ознака 2	...	Ознака m
Відмова 1	1	1	...	0
Відмова 2	0	1	...	1
...	...	...	...	...
Відмова n	0	0	...	1

Комірки таблиці несправностей заповнюються значеннями «0» або «1» залежно від того, спостерігається певна ознака при даному типі відмови чи ні. Наявність такої інформації дозволяє формалізувати дані про результати спостережень, ідентифікувати тип відмов за наявності певних ознак.

Розглянемо другий тип моделі – чіткі діагностичні моделі (табл. 2).

Таблиця 2 – Діагностична модель у вигляді чітких лінгвістичних правил

Правило 1	Якщо ознака a=a1, то відмова=b1
Правило 2	Якщо ознака a=a2, то відмова=b2
.....	.....
Правило n	Якщо ознака a=an, то відмова=bn

У табл. 2. представлена діагностична модель, що базується на чітких лінгвістичних правилах. Наведені правила описують характер прояву окремих діагностичних ознак для того чи іншого порушення нормальної експлуатації, відмови.

При побудові нечітких лінгвістичних діагностичних моделей набір нечітких правил може бути представлений у такому вигляді. Кожне нечітке діагностичне правило формує причинно-наслідковий зв'язок між ознакою і діагнозом. Потім ці правила об'єднуються в групи і заносяться в базу даних експертної системи.

В результаті опитування групи експертів для діагностування потенційно небезпечного дефекту

можна скласти діагностичні правила для досліджуваного об'єкта (табл. 3).

Таблиця 3 – Нечіткі діагностичні правила (суб'єктивні оцінки експертів)

Правило 1	Якщо значення ознаки $a_1 =$ «трохи підвищено», то поява дефекту = «ймовірно»
Правило 2	Якщо значення ознаки $a_2 =$ «підвищений», то поява дефекту = «досить ймовірно»
.....	.....
Правило n	Якщо значення ознаки $a_n =$ «сильно підвищений», то поява дефекту = «дуже ймовірно»

У тих випадках, коли статистична інформація про дефекти представлена в достатній кількості, можуть бути використані діагностичні моделі, що базуються на нечітких нейронних мережах.

Відмінною рисою нейронних мереж є те, що побудова діагностичних правил та їх оптимізація здійснюється автоматично.

## Висновок

Розглянуті діагностичні моделі можуть бути використані для формування бази знань і діагностування будівельних конструкцій. При різних впливах на конструкції під час експлуатації проводиться ідентифікація дефектів і оцінюється прогноз їх розвитку. На основі цих даних може бути вирішена задача вибору стратегії відновлення, яка буде враховувати інформацію про дефекти різної природи, в тому числі і таких, опис яких не може бути чітко формалізований, а також неточність ідентифікації дефектів і ймовірнісну природу виникнення відмов об'єкта, що експлуатується.

## Список літератури

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд [Текст]. – Київ, 2003. – 144 с.
2. Михайленко В.М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей [Текст] // О.О. Терент'єв, Б.М. Єременко // – Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов Под общ. редак. проф. В.И. Большакова выпуск. – Дніпропетровськ, 2013. – №70. – С. 133 – 141.
3. Михайленко В.М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель [Текст] // О.О. Терент'єв, Б.М. Єременко. – Д.: Строительство, материаловедение, машиностроение, сб. науч. трудов / Под общей редакцией профессора В.И. Большакова выпуск. – Дніпропетровськ, 2014. – №78. – С. 190 – 195.
4. Терент'єв О.О. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд [Текст] // О.О. Терент'єв, С.Є. Шабала, Б.С. Малина / Управління розвитком складних систем. – 2015. – №22. – С. 138 – 143.
5. Терент'єв О.О. Інформаційна технологія системи діагностики технічного стану будівель на основі дослідження мікросейсмічних коливань / О.О. Терент'єв, С.Є. Шабала, Б.С. Малина / Управління розвитком складних систем. – 2015. – 23. – С.133 – 139.
6. Olexander Terentyev The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition [Text] // Olexander Terentyev, Mykola Tsiutsiura // – International Journal of Science and Research (IJSR), Volume 4 Issue 7, July 2015. – P. 827-829.
7. Терент'єв О.О. Моделі визначення фізичного зношення конструктивних елементів будівлі для задач діагностики технічного стану [Текст] / О.О. Терент'єв, О.І. Баліна, С.Є. Шабала // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 26. – С. 153 – 157.
8. Терент'єв О.О. Розробка інформаційної технології проектування та контролю місцеположення мобільних об'єктів [Текст] / О.О. Терент'єв, О.І. Баліна, С.Є. Шабала, О.С. Турушев // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 133 – 138.
9. Каталог приборов неразрушающего контроля качества железобетона. НИИСК Госстроя СССР, [Текст]. – Киев, 1986. – 24 с.
10. ГОСТ 18105-86 (СТСЭВ 2046-79) Бетоны. Правила контроля прочности. Госстрой СССР, Издательство стандартов [Текст]. – Москва, 1987. – 18 с.

Стаття надійшла до редколегії 18.11.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

**Терентьев Александр Александрович**

Кандидат технических наук, профессор кафедры информационных технологий, [orcid.org/0000-0001-6995-1419](https://orcid.org/0000-0001-6995-1419)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Шабала Евгения Евгеньевна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, [orcid.org/0000-0002-0428-9273](https://orcid.org/0000-0002-0428-9273)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Балина Елена Ивановна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики,

[orcid.org/0000-0002-2928-8459](https://orcid.org/0000-0002-2928-8459)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Доля Елена Викторовна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики,

[orcid.org/0000-0003-2503-2634](https://orcid.org/0000-0003-2503-2634)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

## ПОСТРОЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

**Аннотация.** Рассмотрены модели диагностирования отказов строительных конструкций зданий и выбор стратегии их восстановления в условиях неопределенности. Решение этих задач позволит значительно повысить эффективность функционирования объектов строительства за счет снижения количества отказов. Для обеспечения надежности зданий необходим комплексный анализ процессов накопления повреждений, контроль эксплуатационных характеристик. Это требует разработки методов и средств диагностирования работы исследуемых объектов. В задачах диагностики, принятия решений может быть обеспечено с помощью диагностических моделей различных типов, в которых используются приближенные рассуждения, основанные на нечеткой логике. При различных воздействиях на конструкции при эксплуатации проводится идентификация дефектов и оценивается прогноз их развития. В свою очередь, разработка диагностических моделей является основой базы знаний экспертных систем. Рассмотренные диагностические модели могут быть использованы для формирования базы знаний и диагностирования строительных конструкций.

**Ключевые слова:** надежность зданий; стратегия восстановления; лингвистические диагностические модели; нечеткие правила; нейронные сети; базы знаний

**Terentyev Olexandr**

DSc, Professor, Department of Information Technology, [orcid.org/0000-0001-6995-1419](https://orcid.org/0000-0001-6995-1419)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**Shabala Yevheniia**

PhD (Eng.), Ph.D., associate professor, Department of Information Technology, [orcid.org/0000-0002-0428-9273](https://orcid.org/0000-0002-0428-9273)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev

**Balina Olena**

PhD (Eng.), Ph.D., associate professor, Department of information technology and applied mathematics,

[orcid.org/0000-0002-2928-8459](https://orcid.org/0000-0002-2928-8459)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**Dolya Olena**

PhD (Eng.), Ph.D., associate professor, Department of information technology and applied mathematics,

[orcid.org/0000-0003-2503-2634](https://orcid.org/0000-0003-2503-2634)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

## CONSTRUCTION OF THE MAIN DIAGNOSTIC MODELS OF BUILDINGS

**Abstract.** In this article there is considered the model of diagnosing failures of building constructions and selection strategies for recovery in the face of uncertainty. Solving these problems will significantly increase the efficiency of construction projects by reducing the number of failures. To ensure the reliability of buildings requires a complex analysis of processes of damage accumulation, control performance. This requires the development of methods and means of diagnosing objects studied. In the diagnosis of problems, decision-making can be achieved by using different types of diagnostic models that use approximate reasoning based on fuzzy logic. At various effects on the structure during the operation conducted identification of defects and estimated forecast of their development. In turn, the development of diagnostic models are the basis of the knowledge base of expert systems. Construction diagnostic object models defined structural and functional features, character display of violations of normal operation, the emergence of various types of failures. Considered diagnostic models can be used to form a knowledge base and diagnostics of building structures.

**Keywords:** reliability of buildings; recovery strategy; linguistic diagnostic model; unclear rules; Neural networks; knowledge base

**References**

1. *Regulations on surveys, certification, safe and reliable operation of industrial buildings and structures.* (2003). Kyiv, 144.
2. Mikhailenko, V.M. (2013). *Information technology assessment of technical condition of building constructions elements with the use of fuzzy models [Text]* / V.M. Mikhailenko, O.O. Terentyev, B. Eremenko // *Construction, materials science, mechanical engineering, Sat. scientific. works under the general editorship of Professor V.I. Bolshakova release.* - Dnepropetrovsk, 70, 133-141.
3. Mikhailenko, V.M. (2014). *The experimental results of the expert system for the diagnosis of the problem of technical condition of buildings [Text]* / V.M. Mikhailenko, A.A. Terentyev, B. Eremenko // *Construction, materials science, mechanical engineering, Sat. scientific. works under the general editorship of Professor VI Bolshakova release.* Dnepropetrovsk, Ukraine, 78, 190-195.
4. Terent'ev, Alexandr & Shabala, Yevgeniya & Malina, Bogdan. (2015). *Fundamentals of fuzzy output for problem diagnostics of technical condition of buildings.* *Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 138-143.
5. Terentyev, A.A. (2015). *Information technology diagnostic system technical condition of buildings based on studies of macroseismic fluctuations* / A.A. Terentyev, E.E. Shabala, B.S. Malina // *Kyiv, Ukraine: Management of development of complex systems*, 23, 133-139.
6. Terentyev, Olexander. (2015). *The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition [Text]* // Olexander Terentyev, Mykola Tsiutsiura // – *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Volume 4, 7, 827-829.
7. Terentyev, A.A. (2016). *Models wear determining physical structural elements of the building for problems diagnostics of technical state [Text]* / A.A. Terentyev, O.I. Balina, E.E. Shabala // *Kyiv, Ukraine: Management of development of complex systems*, 26, 153-157.
8. Terentyev, A.A. (2016). *Development of information technology for the design and monitoring of mobile location objects [Text]* / A.A. Terentyev, O.I. Balina, E.E. Shabala, A.S. Turushev // *Kyiv, Ukraine: Management of development of complex systems*, 25, 133-138.
9. *Catalog of instruments for non-destructive quality control of concrete. NIISK Gosstroy USSR [Text]*. Kyiv, 24.
10. *GOST 18105-86 (2046-79 STSEV) Concretes. Rules controlling strength. USSR State Building, Publisher Standards [Text]*. Moscow, Russia, 18.

**Посилання на публікацію**

- APA Terentyev, O., Shabala, Ye., Balina, O. & Dolya, O. (2016). *Construction of the main diagnostic models of buildings.* *Management of Development of Complex Systems*, 28, 155 – 159 [in Ukrainian].
- ГОСТ Терентьев, О.О. *Побудова діагностичних моделей основних конструкцій будівель [Текст]* / О.О. Терентьев, Є.Є. Шабала, О.І. Баліна, О.В. Доля // *Управління розвитком складних систем.* – 2016. – № 28. – С. 155 – 159.