

УДК 004.8+624.9

## **ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЁТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Плоский В. А., д.т.н.,

Теренчук С. А., к. физ.-мат. н. <sup>1</sup>,

Еременко Б. М., к.т.н.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
(Украина),*

Исаенко Д. В., к. н. по гос. управлению

*Конфедерация строителей Украины (Киев, Украина)*

*Исследования, представленные в работе, предназначены для разработки технической документации, которая используется на предпроектной стадии реконструкции зданий и сооружений, но полученный опыт является источником информации, на основе которой осуществляется выбор конструктивного решения в процессе проектирования объектов-аналогов. Кроме того, формализованные знания экспертов используются при формировании базы знаний систем оценки с нечеткой логикой.*

*Ключевые слова: база знаний, строительная конструкция, техническое состояние, экспертная система оценивания.*

**Постановка проблемы.** Расчет строительных конструкций на прогрессирующее разрушение является одним из требований к проектированию и предусматривает локальное разрушение или разрушение отдельных элементов несущих конструкций в пределах одного этажа или частей перекрытий, которые не приводят к разрушению конструкции в целом. При этом допускается развитие трещин и пластических деформаций в отдельных элементах конструкции и арматуре. Планирование и выполнение строительных, строительного-ремонтных работ и работ по реконструкции зданий и сооружений имеет ряд признаков, характеризующих слабо структурированные задачи. Данный класс задач приобретает массовый характер и требует разработки и внедрения новых методов и средств их решения, которые позволят повысить уровень автоматизации процесса принятия решений в нечетких условиях на ранних стадиях обеспечения надежности строительных объектов [1].

---

<sup>1</sup> Научный консультант – д.т.н., профессор Плоский В. А.

Учитывая то, что данная задача недостаточно формализована, особенно актуальным в данном направлении представляется использование экспертных систем с нечеткой логикой [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее, в работах [1, 3] был изложен подход, основанный на моделях и методах нечеткой математики. В [4, 5] описаны примеры формализации некоторых геометрических параметров трещин и параметров влияния среды на кинетику их развития. Сбор данных о состоянии конструкций, анализ и обработка статистических данных производится на основе информации, полученной при диагностике.

В данной работе основное внимание уделяется обработке информации о дефектах и разрушениях несущих конструкций зданий, которые характеризуются параметрами площади обхвата. Текстовая информацией, которая содержится в отчетах и оценках, сопровождаются фотографиями и схемами.

Ниже приведены примеры описания дефектов и разрушений и, которые обнаружены при обследовании внутренних помещений и выписка из оценки технического состояния эксплуатационной пригодности несущих конструкций здания с повреждениями и дефектами различного характера, которые использовались для выведения нечетких правил оценивания [5, 6].

**1-й этаж** (ссылки на схемы расположения и фотографии):

- разрушение бетона ступенек марша на участках 1100×150 мм, 1700×150 мм, 1800×90 мм (схема и фото);
- отслоение облицовочного слоя бетона стен лестничной площадки на участке 2500×2600 мм (схема и фото).

**3-й этаж** (ссылки на рисунки и фотографии):

- следы замокания, высолы, разрушение облицовочного слоя бетона на участках стен площадью 0,6 м<sup>2</sup> (фото);

**4-й этаж** (ссылки на рисунки и фото):

- следы замокания, высолы, на участках стен площадью 7,0 м<sup>2</sup>.

**Подвал** (ссылки на рисунки и фотографии):

- следы замокания, высолы, грибок, разрушение облицовочного и штукатурного слоя бетона на участках стен общей площадью 30,0 м<sup>2</sup>.

**Заключение.** По результатам оценок установлено, что конструкции здания находятся в удовлетворительном состоянии, за исключением монолитного железобетонного перекрытия подвала.

Методы формирования базы правил, основанные на анализе подобной информации, в первую очередь, приводят к сложностям, связанным с представлением знаний и требуют формализации экспертных заключений в виде нечетких правил.

**Формулировка целей статьи.** Цель работы заключается в формализации экспертного опыта, который используется в нечетких

базах знаний при обработке геометрических параметров деградации конструкций, и характеризуются нечеткой информацией о положении, форме и площади фигуры, охватывающей область разрушения.

**Основная часть.** Нечеткой базой знаний называется система нечетких правил *if* <условие правила> *then* <вывод правила>, которое определяет взаимосвязь между входами и выходами системы нечеткого вывода.

Система нечеткого вывода детально описана в [3]:.

Входящие параметры задаются в виде вектора, координаты которого включают геометрические параметры дефектов и разрушений. В работе предложено расширить вектор исходных данных за счет геометрических параметров деградации, которые характеризуются нечеткими положением, формой и размерами площади фигуры, охватывающей область разрушения. Каждому входящему параметру соответствует лингвистическая переменная, которая, в свою очередь, состоит из определенного количества термов. Каждый терм является нечетким множеством (табл. 1).

Таблица 1

Пример формализации геометрических параметров деградации конструкций

Вид дефекта	Параметр (i=1, ...,8)	Термы для лингвистической оценки
У <sub>1</sub> – трещина	описаны в [4]	
У <sub>2</sub> – высолы; У <sub>3</sub> – грибок; У <sub>4</sub> – следы замокания; У <sub>5</sub> – отслоение облицовочного слоя бетона; У <sub>6</sub> – разрушение штукатурного слоя бетона; У <sub>7</sub> – отшелушивание поверхности бетона; У <sub>8</sub> – разрушение бетона.	у <sub>13</sub> – размер площади охвата	нулевой (ну); незначительный (нз); существенный (су); обширный (об);
	у <sub>14</sub> – форма площади охвата	треугольная (т); трапециевидная (тр); сферообразная (сф); эллипсоподобная (э); неправильная (н);
	у <sub>17</sub> – положение дефекта в объекте	в швах между плитами (шмп); вдоль арматуры (ва); в полках плит (пп); на участках перекрытия (упе); возле опор (во); над оконными прорезами (ноп);

Кроме принятых в действующих стандартах описаний параметров деградации конструкций, в работе учитывалась специфика предоставления и обработки текстовой информации и программного обеспечения [4 – 6], которое используется для формирования системы нечеткого вывода. При выборе термов для лингвистической оценки геометрических параметров деградации, которые характеризуются нечеткой информацией о фигуре, охватывающей область разрушения, использовался метод ассоциаций [7].

Выход правила – лингвистическая переменная, которая в данной предметной области представляет категорию технического состояния и характеризуется множеством термов [3]: нормальный (Н); удовлетворительный (У); не пригодный для нормальной эксплуатации (Не); и аварийный (А).

Система нечетких правил для оценки влияния каждого дефекта на состояние конструкций состоит из формализованных выражений, которые имеют вид [1, 7]:

**Правило 1:** *if* <вид дефекта = следы замокания, высолы *и* размер площади = незначительный *и* форма площади треугольная, *и* положение = на участках перекрытия> *than* <состояние = нормальное>;

**Правило 2:** *if* <вид дефекта = следы замокания *и* размер площади = существенный *и* форма площади сфероподобная, *и* положение = в полках плит> *than* <состояние = удовлетворительное>;

**Правило 3:** *if* <вид дефекта = высолы *и* размер площади = существенный *и* форма площади неправильная, *и* положение = на участках перекрытия> *than* <состояние = не пригодное для нормальной эксплуатации >;

**Правило 4:** *if* < вид дефекта = разрушение бетона, коррозия арматуры *и* размер площади = обширный *и* форма площади = трапециевидная, *и* положение = на участках потолка> *than* <состояние аварийное>.

Правила для оценки формировались на основе анализа экспертных оценок технического состояния несущих конструкций здания, которая проводилась согласно с квалификационными признаками действующих нормативных документов [5].

**Выводы.** Преимущество применения моделей и методов нечеткой математики при диагностике строительных конструкций заключается в повышении степени автоматизации экспертных систем оценки за счет формализации геометрических параметров деградации, которые характеризуются нечеткими формой и размерами площади фигуры, охватывающей область разрушения. Кроме того, в работе учтена необходимость использования информации о положении дефекта в объекте и геометрических характеристиках самого объекта.

Описанный подход применяется на практике при разработке систем диагностики технического состояния зданий и сооружений с использованием искусственных нейронных сетей [8], но обучение нейросетей предполагает существование надежной базы знаний. Таким образом, полученные в данной статье результаты анализа научно-технических отчетов и оценок могут быть использованы для проверки адекватности нечетких моделей, которые формируют обучающую выборку.

### *Література*

1. Гайна Г.А. Концепція багатомодельного підходу до розробки інтелектуальних СППР у містобудуванні / Г.А. Гайна // Управління розвитком складних систем. – 2010. – № 1. С. 28-34.
2. Hammah, R. Fuzzy cluster algorithm for the automatic identification of joint sets / R. Hammah, J. Curran // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science. – 2010. Vol. 35, Issue 7. – P. 889-905.
3. Теренчук С.А. Оцінювання технічного стану будівельних конструкцій на основі нечіткого виведення / С.А. Теренчук, Б.М. Єременко, А.О. Пашко // Будівельне виробництво. – 2016. – № 61/2016. – С. 23-31.
4. Terenchuk S. Implementation of Intelligent Information Technology for the Assessment of Technology for Condition of Building Structures in the Process of Diagnosis / S. Terenchuk, B. Yeremenko, T. Sorotuyk // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 5/3(83), P. – 30-39.
5. Єременко Б.М. Застосування експертних знань для формування бази знань системи оцінювання технічного стану будівельних конструкцій / Б.М. Єременко, С.А. Теренчук, С.М. Картавих, О.В. Насіковський // Наука та будівництво. – 2017'4. – С. 63-69.
6. Соколов В.А. Категории технического состояния строительных конструкций зданий при их диагностике вероятностными методами / В.А. Соколов // Фундаментальные исследования. Технические науки. – 2014. – №6. – С. 1159-1164.
7. Terenchuk, S., Yeremenko, B., Kartavykh, S., Nasikovskiy, O. (2018). Application of fuzzy mathematics methods to processing geometric parameters of degradation of building structures. «Eureka: physics and engineering», 1, 56-62.
8. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. – Warszawa, 2000 – 342 p.

## **ФОРМУВАННЯ НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Плоский В.О., Теренчук С.А., Єременко Б.М., Ісаєнко Д.В.

*Дослідження, що проведені в роботі, призначені для розробки технічної документації, що використовується на передпроектній стадії будівель і споруд, але досвід, який набувається в процесі аналізу оцінок, є джерелом інформації, на основі якої приймаються конструктивні рішення в процесі проектування об'єктів-аналогів. Окрім того, формалізовані експертні знання використовуються при формуванні бази знань систем оцінки з нечіткою логікою.*

*Ключові слова: база знань, будівельна конструкція, технічний стан, експертна система оцінювання.*

## **FORMING A FUZZY KNOWLEDGE BASE OF A SYSTEM FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDING STRUCTURE**

Ploskyi V., Terenchuk S., Yeremenko B., Isayenko D.

*The research carried out in the work is intended to develop technical documentation used at the pre-design stage of buildings and structures, but the experience gained during the analysis of estimates is the source of information on which constructive decisions are made in the process of design of similar objects. In addition, formalized expert knowledge is used to form the knowledge base of evaluation systems with fuzzy logic.*

*Keywords: knowledge base, building structure, technical condition, expert assessment system.*