

Еременко Б. М.

ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

Розроблено модульну схему інтелектуальної системи для діагностування технічного стану об'єктів будівництва, яка являє собою вузькоспеціалізовану САПР. Запропоновано нечітку модель для прогнозування процесів руйнування бетонних і залізобетонних елементів конструкцій. Застосування в моделі неперервного контролю параметрів хвиль акустичної емісії та експертних знань дозволяє враховувати динаміку руйнування в умовах випадкових навантажень і впливів.

Ключові слова: акустична емісія, діагностика, інтелектуальна система, нечітка модель, неперервний контроль.

1. Вступ

Нааявність невирішених проблем в прогнозуванні технічного стану (ТС) об'єктів будівництва (ОБ) підтверджується статистичними даними. Наприклад, причиною 48,4 % відмов нафтогазопроводів стали зовнішні впливи; 16,7 % — дефекти матеріалу; 16,1 % — корозія; 7,4 % — рухи ґрунту; 6,6 % — інше та невідоме. Така статистика доводить, що зростання невизначеності зовнішніх навантажень і впливів призводить до втрати адекватності математичних моделей, які використовуються в існуючих засобах технічної діагностики [1]. Одним з підходів до формування адекватних моделей є розв'язання стохастичних диференціальних рівнянь будівельної механіки. В таких рівняннях в якості навантажень використовуються моделі випадкових навантажень і впливів, що описуються стаціонарними гауссовими випадковими процесами з неперервними спектральними щільностями [2].

Інший підхід передбачає створення інтелектуальних систем неперервного контролю тріщиноутворення в елементах ОБ, що уже мають дефекти або пошкодження, знаходяться у важкодоступних місцях чи перебувають під дією випадкових навантажень, на основі експертних знань про зв'язки між діагностичними параметрами та процесами руйнування будівельних матеріалів в умовах експлуатації [3].

Даний підхід надає можливість будувати системи діагностування ОБ на базі нечітких експертних знань, доцільність і актуальність застосування яких забезпечується зміною бази сировини з часом та появою нових технологій виробництва будівельних матеріалів. Окрім того, урахування натурних даних про процеси тріщиноутворення, які отримуються в результаті неперервного контролю в режимі реального часу, є необхідною умовою формування адекватної динамічної моделі та надійного методу моделювання граничних станів об'єктів будівництва на стадії проектування.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Огляд математичних моделей і методів розв'язання діагностичних задач в умовах невизначеності та ризиків

показав, що серед різноманітних підходів до діагностування ОБ теорія нечітких множин є однією з найефективніших математичних теорій, спрямованих на формалізацію експертних знань і обробку неповної, нечіткої та суперечливої інформації [4]. В роботі [4] також було розроблено приклад формалізації та приклад нечіткої бази знань дефектів та пошкоджень залізобетонних плит перекриття, а також запропоновано нечітку модель для діагностування їх ТС. Ступінь пошкодження елемента конструкції в зазначеній моделі характеризується термом з максимальним ступенем належності.

Слід зазначити, що моделювання технічного стану на основі наведеної нечіткої моделі є актуальним на момент обстеження, але прогнозування за відібраними діагностичними параметрами не буде достатньо надійним, оскільки жоден з них не відображає динаміку змін технічного стану об'єкта. В той же час, ресурс безпечної експлуатації ОБ суттєво залежить від швидкості протікання негативних процесів і накопичення змін в структурі матеріалів [5].

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження свідчать про надійність діагностування тріщиноутворення в металевих конструкціях методом акустичної емісії (АЕ) як на стадії зародження, так і в період розвитку тріщин будь-якої природи [5, 6]. Успішне застосування діагностичних систем на основі акустичної емісії для локалізації руйнування та ідентифікації процесів руйнування в металевих конструкціях в реальному режимі часу [7, 8] робить дуже привабливими наукові дослідження, що спрямовані на впровадження АЕ технологій і систем в область діагностування бетонних та залізобетонних конструкцій. Проте гетерогенна структура бетону дуже відрізняється від структури металів. Саме тому, використання АЕ для діагностування бетонних елементів ОБ потребує проведення ряду теоретичних і експериментальних досліджень механізму акустичної емісії та розробки спеціалізованих алгоритмів і програм, які нададуть можливість із значної кількості вихідної АЕ інформації відібрати ту, що дозволить визначити ступінь безпеки дефекту на основі моделювання кількісних зв'язків між параметрами акустичної емісії з фізико-механічними характеристиками напруженого

бетону та кінетикою їх змін в процесі руйнування. В свою чергу, використання акустичної емісії для оцінки надійності бетонних та залізобетонних ОБ є основою для побудови моделей накопичення пошкоджень та розвитку тріщин в часі.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єктами дослідження в даній роботі є процеси руйнування бетонних і залізобетонних об'єктів будівництва та процес діагностування їх технічного стану на стадії експлуатації.

Метою роботи є розробка моделі інтелектуальної системи для діагностики технічного стану об'єктів будівництва, яка надасть можливість покращити ефективність процесу обстеження та якість прийняття рішень щодо визначення категорії технічного стану ОБ та вибору відповідних заходів забезпечення їх експлуатаційної придатності, надійності та безпеки.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- формалізувати процес діагностики технічного стану елементів бетонних та залізобетонних конструкцій, яка дозволить урахувати динаміку процесів руйнування в сучасних умовах випадкових навантажень і впливів;
- визначити діагностичні параметри хвиль акустичної емісії, що можуть бути критеріями кластеризації категорії технічного стану;
- розробити нечітку модель процесу руйнування, яка стане основою бази знань інтелектуальної системи діагностування технічного стану ОБ.

4. Розробка нечіткої моделі процесу руйнування

4.1. Структура процесу діагностування технічного стану ОБ. Структуру діагностування технічного стану об'єкта представлено на рис. 1. Згідно цієї структури, оцінка технічного стану об'єкта будівництва передбачає діагностування його елементів та визначається типом їх з'єднань, а залишковий ресурс усього ОБ оцінюється по елементу, що знаходиться в найгіршому стані за його математичною моделлю і визначається сукупністю технічних параметрів, рівнянням стану, умовами експлуатації та значеннями граничних технічних параметрів [9].



Рис. 1. Структура процесу діагностування технічного стану ОБ

Деградація об'єкту визначається через її ознаки, кінетику та механізм розвитку після віднесення об'єкту до одного з класів: «дефект», «пошкодження», «руйнування», «відмова». Діагностика середовища здійснюється за його властивостями створювати певні навантаження, впливи та напружено-деформований стан об'єкту. Визначення параметрів процесу та діагностування технічного стану ОБ здійснюється спеціалістами з неруйнівного контролю [10].

4.2. Нечітка модель процесу руйнування. Перше питання, що виникає при розробці нечіткої модулі — обґрунтування та формалізація множини параметрів, за якими буде визначатись ТС об'єкта. В даній роботі пропонується доповнити множину прямих параметрів, що розглядалися в [4], множиною параметрів середовища, які суттєво впливають на швидкість руйнування бетону, та хвиль акустичної емісії. Підґрунтям такого рішення став факт перетворення частини механічної енергії, що вивільниться при руйнуванні будь-яких матеріалів, в енергію акустичної хвилі.

При аналізі сигналу АЕ — емісії, що виникає в металевих конструкціях, використовуються такі його характеристики: частота, максимальна амплітуда, час, тривалість імпульсу, час наростання імпульсу, поріг чутливості. Аналіз зазначених характеристик дозволяє здійснити ідентифікацію та локалізацію джерел акустичної емісії [8, 9]. Однак характер сигналів АЕ, що надходять до приймачів при деформації гетерогенних матеріалів, до яких належить бетон, має складний характер, так як спотворюється внаслідок багатозорового розсіювання на границях між різними фазами.

Не зважаючи на сказане, на думку автора, параметр, який дозволить виявити розбіжності між різними процесами руйнування, це частота сигналу акустичної емісії. До множини параметрів середовища, діагностування яких надасть можливість оцінити швидкість розвитку процесів деградації були відібрані: вплив вібрацій, вплив вологості, вплив заморозання чи промерзання та вплив температури (табл. 1).

Нечітка модель процесу руйнування має вигляд:

$$\mu^k(lt) = \bigcap_{j=12i+1}^{16} \bigcup^{11} (x_i \rightarrow x_j),$$

де $\mu^k(lt)$ — міра належності лінгвістичної змінної lt , що характеризує розвиток руйнування; lt має значення: руйнувань немає, руйнування незначні, значні руйнування, критичні руйнування, катастрофа (повне руйнування); k — вид конструкції (1 — балка, 2 — балка з арматурою і т. д.); $x_i = 1..11$ — вхідні лінгвістичні змінні [4]; $x_j = 12..16$ — вхідні лінгвістичні змінні (табл. 1).

Нечітка множина висновків є результатом композиції нечітких множин і їх нечіткої імплікації.

Метод нечіткого логічного виведення складається з етапів:

1. Переведення до нечіткості вхідних даних, опис їх за допомогою функцій належності.
2. Обчислення відношення імплікації нечітких множин.

3. Знаходження композиції нечітких множин.
4. Приведення до чіткого значення отриманих результатів.

Таблиця 1

Формалізація діагностичних параметрів руйнування бетонних і залізобетонних елементів ОБ

Діагностичні параметри вхідних даних	Терми для лінгвістичної оцінки
x_{12} — частота початку сигналу акустичної емісії	руйнування арматури (а); просочування води крізь бетон (пвб); руйнування бетону (б); відшарування бетону від арматури (аб); руйнування антикорозійного покриття (акп)
x_{13} — вплив вібрацій на швидкість руйнування	немає (н); несуттєвий (нс); суттєвий (с)
x_{14} — вплив вологості на швидкість руйнування	відсутній (н); повільний (пт); середній (ст); суттєвий (св)
x_{15} — вплив заморзання чи промерзання на швидкість руйнування	відсутній (н); повільний (пт); середній (ст); суттєвий (св)
x_{16} — вплив температури на швидкість руйнування	відсутній (н); повільний (пт); середній (ст); суттєвий (св)

Нечіткий логічний висновок характеризує на експертному рівні можливу динаміку розвитку тріщин. Це дає можливість прогнозувати технічний стан ОБ.

5. Модульна схема вузькоспеціалізованої інтегрованої САПР для діагностування технічного стану об'єктів будівництва

Розробку модульної схеми інтелектуальної системи діагностування технічного стану ОБ здійснюємо згідно з інфологією формалізації процесу діагностування, що надана на рис. 2.

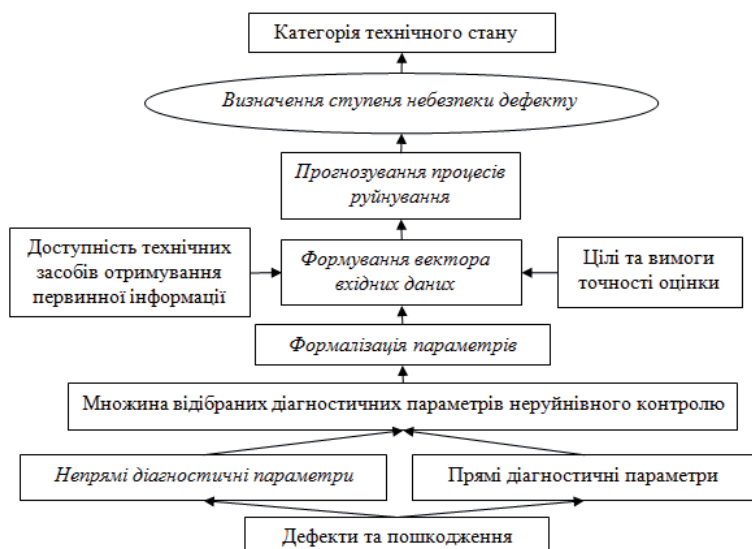


Рис. 2. Інфологія формалізації процесу діагностування технічного стану елементів ОБ

При цьому слід приймати до уваги, що в таких розрахункових програмних комплексах, як ЛИРА-САПР і SCAD Office, окрім даних про бетон і арматуру, що нормуються, передбачається можливість [9]:

- призначити параметрам напружено-деформованого стану довільних розрахункових значень, в тому числі даних натурних обстежень;
- призначити характеристичні значення навантажень та впливів середовища та здійснювати вибір їх сполучень.

Це означає, що інтеграція інтелектуальної системи, що розробляється, з подібними розрахунковими комплексами дозволить суттєво підвищити ступінь автоматизації як інтелектуальної системи, так і розрахункових комплексів [11].

Модульну схему вузькоспеціалізованої інтегрованої САПР для діагностування технічного стану об'єктів будівництва, яка являє собою інтелектуальну систему для діагностики технічного стану ОБ, що інтегровані з зовнішніми САПР, представлено на рис. 3.

До *зовнішніх даних* зображеної на рис. 3 САПР слід віднести блок даних, що отримується з зовнішніх джерел таких, як датчики акустичної емісії або інші пристрої, що використовуються при неруйнівному контролі, дані про властивості зовнішнього середовища, експертні системи, тощо.

Зовнішні САПР містять потрібну інформацію щодо важливих елементів ОБ, які знаходяться в зонах підвищеного ризику руйнування, їх розташування, точки найвищого навантаження, матеріал з якого їх виготовлено, умови для яких вони спроектовані на періодах:

- підтримки конструктивних елементів та інженерних систем в задовільному технічному стані;
- фізичного зносу, що потребує модернізації, реконструкції та знесення ОБ;
- відновлення механічних та експлуатаційних характеристик ОБ.

Зовнішні САПР — універсальні САПР, в яких виконується побудова трьох-вимірної моделі ОБ та проводиться розрахунок навантажень на окремі його елементи. З зовнішніх САПР користувач отримує інформацію про нормативні дані кожного з елементів ОБ на визначеному періоді життєвого циклу, що дозволяє визначити місце встановлення вимірювальних датчиків і обґрунтувати методи та засоби діагностування. У випадках відсутності необхідних даних виконується запит до експертів чи бази знань інтелектуальної системи на предмет пошуку аналогів або даних попередніх оглядів чи проводяться додаткові обстеження.

Модуль взаємодії з користувачем представляє собою інтерфейс програми, що дозволяє користувачу отримувати інформацію щодо поточного стану елементів ОБ та ОБ в цілому без завантаження універсальної системи автоматизованого проектування, яка містить інформаційну модель ОБ.

Модуль роботи с САД системою призначений конвертувати дані щодо інформаційної моделі будівлі з мінімальними втратами інформації з метою їх подальшої обробки модулем передачі даних.

Модуль передачі даних отримує та передає всю поточну інформацію до окремих модулів в необхідній їм формі.

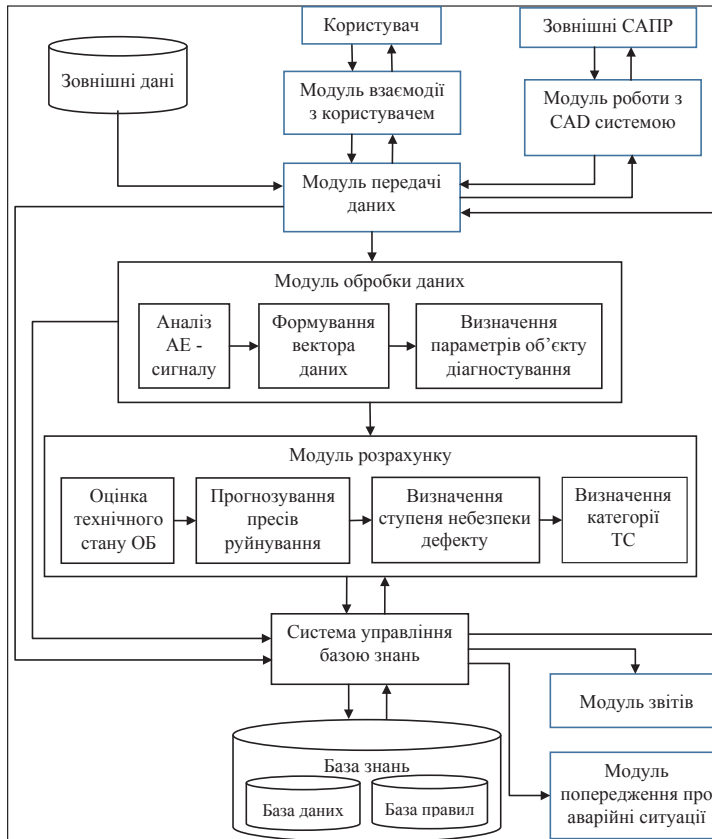


Рис. 3. Модульна схема вузькоспеціалізованої інтегрованої САПР для діагностики технічного стану об'єктів будівництва

Модуль обробки даних виконує три функції [12]:

- аналіз сигналу з зовнішнього датчика полягає в тому, що система відфільтровує дані, що необхідні для розрахунку та прогнозування технічного стану об'єкта, відфільтровуючи шуми для мінімізації похибки в розрахунках;
- формування вектора даних складається з аналізу та класифікації зовнішніх даних;
- визначення параметрів об'єкта передбачає визначення множини діагностичних параметрів неруйнівного контролю.

Модуль розрахунку виконує чотири функції: оцінку і прогнозування технічного стану об'єкта та визначення ступеню небезпечності дефекту на основі алгоритму нечіткого виводу; прогнозування пресів руйнування на основі нечіткої моделі процесу руйнування.

Модуль звітів виконує формування остаточних відомостей, аналізує звіти з метою виділення даних, що свідчать про наближення об'єкта діагностування до граничних станів.

База знань вміщує в себе базу даних і базу правил та умов застосування. В базі даних зберігаються всі отримані параметри з зовнішніх даних, зовнішніх САПР, розрахунків, прогнозів та експертних оцінок. Таким чином, в базі правил накопичуються та зберігаються

6. Обговорення результатів дослідження діагностичного параметру АЕ

Слід зазначити, що при вибір діагностичного параметра акустичної емісії було здійснено на основі аналізу властивостей бетону і акустичних методів діагностування технічного стану об'єктів будівництва. Проведений аналіз

показав, що параметр «енергія сигналу АЕ» однозначно визначає та адекватно оцінює енергетичні параметри фізичного процесу виникнення тріщин. Але не вся енергія руйнування переходить в енергію хвилі. Частина енергії руйнування переходить в теплову енергію і, в цьому випадку вимірюється не механічна енергія руйнування матеріалу, а енергетичний параметр акустичної хвилі.

Така ситуація спонукала до проведення лабораторних випробувань бетонних зразків елементів ОБ з метою виявлення можливості формування бази знань спроектованої інтелектуальної системи для діагностики технічного стану ОБ. Суть експериментів полягала в спостереженні за сигналом від датчика АЕ, який було закріплено на бічній поверхні зменшених зразків колони розміром $4 \times 4 \times 16$ см, що захищені антикорозійним покриттям. Колона стискалась до руйнування. При цьому, за деякий час до утворення магістральних тріщин на акустограмах навантаження з'являлись сигнали, що характерні для акустичної емісії (рис. 4). Час появи сигналу залежав від швидкості руйнування зразку.

Таким чином, вибір в якості діагностичного параметра ознаки деградації бетонних і залізобетонних виробів обґрунтовано не тільки проведенням теоретичних досліджень. В якості інформації для аналізу обрані спектри сигналів АЕ. Але для встановлення кореляції між частотою імпульсів та енергією руйнування матеріалу, на основі якої можливе діагностування технічного стану провести ряд фізичних досліджень.

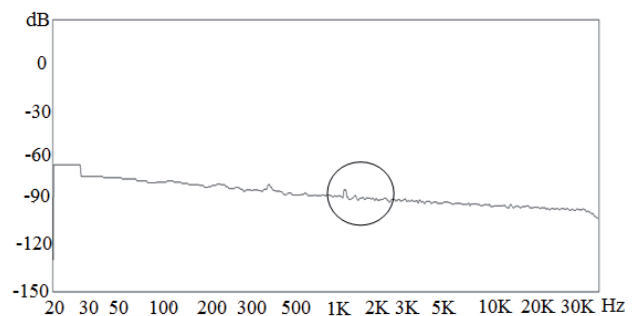


Рис. 4. Характерний для акустичної емісії сигнал

7. Висновки

В результаті проведених досліджень:

- 1) формалізовано процес діагностики технічного стану елементів бетонних та залізобетонних конструкцій, що враховує динаміку процесів руйнування в умовах випадкових навантажень і впливів;
- 2) визначено діагностичний параметр хвиль акустичної емісії, що може бути критеріями кластеризації категорії технічного стану;
- 3) розроблено нечітку модель процесу руйнування, на основі якої можливе формування бази знань інтелектуальної системи діагностування технічного стану ОБ;
- 4) розроблено модульну структуру інтелектуальної системи для організації і проведення діагностування технічного стану ОБ.

Подальші дослідження будуть спрямовані на побудову ймовірнісних моделей накопичення пошкоджень і розвитку тріщин.

Література

1. Карпаш, М. О. Методологія багатопараметрового діагностування технічного стану трубопроводів довготривалої експлуатації [Текст] / М. О. Карпаш // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2013. — № 3. — С. 23–30.
2. Kozachenko, Yu. V. Accuracy of Simulations of the Gaussian random processes with continuous spectrum [Text] / Yu. V. Kozachenko, A. A. Pashko // Computer Modelling and New Technologies. — 2014. — Vol. 18, № 3. — P. 7–12.
3. Михайленко, В. М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель [Текст] / В. М. Михайленко, О. О. Терентьев, Б. М. Єременко // Строительство, материаловедение, машиностроение. — 2014. — № 78. — С. 190–1195.
4. Михайленко, В. М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей [Текст] / В. М. Михайленко, О. О. Терентьев, Б. М. Єременко // Строительство, материаловедение, машиностроение. — 2013. — № 70. — С. 133–141.
5. Bavarian, V. Vapor phase inhibitors to extend the life of aging aircraft [Text] / V. Bavarian, L. Reiner, H. Yuossefpour, J. Juraga // Corrosion. — 2005. — Paper 05329. — P. 1–9.
6. Скальський, Р. В. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації [Текст] / Р. В. Скальський, П. М. Коваль. — Львів: Сполох, 2005. — 396 с.
7. Недосека, С. А. Диагностические системы семейства «ЕМА». Основные принципы и особенности архитектуры [Текст] / С. А. Недосека, А. Я. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2005. — № 3. — С. 20–26.
8. Глива, А. В. Непрерывный акустичний контроль та ідентифікація тріщиноутворення в металевих конструкціях [Текст] / В. А. Глива, М. І. Делас, Б. М. Єременко // Управління розвитком складних систем. — 2010. — № 1. — С. 115–118.
9. Барабаш, М. С. Методика моделювання прогресуючого обрушення на прикладі реальних висотних зданий [Текст] / М. С. Барабаш, М. А. Ромашкина // Строительство, материаловедение, машиностроение. — 2014. — № 78. — С. 28–37.
10. Єременко, Б. М. Застосування методів неруйнівного контролю до визначення технічного стану об'єктів будівництва [Текст] / Б. М. Єременко // Теорія і практика будівництва. — 2012. — Вип. 10. — С. 25–28.
11. Chen, G. Unified Feature Modeling Scheme for the Integration of CAD and CAx [Text] / G. Chen, Y.-S. Ma, G. Thimm, S.-H. Tang // Computer-Aided Design and Applications. — 2004. — Vol. 1, № 1–4. — P. 595–601. doi:10.1080/16864360.2004.10738303
12. Citarella, R. Modal acoustic transfer vector approach in a FEM-BEM vibro-acoustic analysis [Text] / R. Citarella, L. Federico, A. Cicatiello // Engineering Analysis with Boundary Elements. — 2007. — Vol. 31, № 3. — P. 248–258. doi:10.1016/j.enganabound.2006.09.004

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Разработано модульную схему интеллектуальной системы для диагностики технического состояния строительных объектов, которая представляет собой узкоспециализированную САПР. Предложена нечеткая модель для прогнозирования процессов разрушения бетонных и железобетонных элементов конструкций. Использование в модели данных непрерывного контроля параметров волн акустической эмиссии и экспертных знаний позволяет учитывать динамику разрушения в условиях случайных нагрузок и полей.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, диагностика, интеллектуальная система, нечеткая модель, непрерывный контроль.

Єременко Богдан Михайлович, аспірант, кафедра інформаційних технологій проектування та прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна, e-mail: erembm@ukr.net.

Єременко Богдан Михайлович, аспірант, кафедра інформаційних технологій проектування і прикладної математики, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна.

Yeremenko Bohdan, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, e-mail: erembm@ukr.net

УДК 004.043

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37613

**Крисилев В. А.,
Марулин С. Ю.,
Ал Асвад Салех**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Сделан детальный обзор методов и информационных моделей структурирования информации в учебном процессе. Определены ключевые показатели качества обучения, влияющие на восприятие и запоминаемость. Представлен метод грануляции информации и соответствующая модель гранулы информации. Сделаны выводы о эффективности использования каждой модели и метода структурирования информации.

Ключевые слова: качество обучения, модель и метод структурирования информации, гранула информации.

1. Введение

Стремительное развитие информационных технологий значительно сократило период обновления учебных

материалов, что в свою очередь усложнило процесс разработки и обновления учебных курсов. Следовательно, эффективное обучение — это обучение, которое гибко подстраивается под теорию современных информацион-