

УДК 504.064

**Д.В. ВАРАВІН**

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

***Анотація.** Розглянута технологія функціонального синтезу моніторингових даних для вирішення завдань реконструкції житлових будівель на урбанізованих територіях з метою їх ефективного функціонування. Запропонована концепція програмної реалізації моніторингу на основі байєсівського інтелектуального вимірювання (БІВ) і засоби реалізації БІВ у вигляді експертних систем (ЕС) та інтелектуально-вимірювальних комплексів (ІВК). Закладені передумови до розробки системних методів оцінки процесів реконструкції житлового фонду на урбанізованих територіях.*

***Ключові слова:** інформаційна система, моніторинг, функціональна реструктуризація, реконструкція житлових будівель.*

### **Вступ**

Збільшення чисельності міського населення, пов'язане з нелінійно зростаючим процесом урбанізації з одного боку, і змінами в структурі продуктивних сил, характері праці, соціальних умовах життя ускладнюють проблему оцінки виникнення та розвитку надзвичайних ситуацій техногенного характеру в мегаполісах, особливо при розселенні, як на рівні регіонів, так і по країні в цілому.

Проблема поліпшення навколишнього середовища урбанізованих територій включає вирішення безлічі вельми складних, нелінійних, важко формалізованих науково-прикладних задач екологічної безпеки, що вимагають інформації, в тому числі з моніторингу навколишнього середовища. У цілому, будь-яка моніторингова система, особливо на локальному рівні, повинна розглядатися як моніторингова експертна система, яка виконує контроль над станом середовища і допомагає людині впливати на цей стан в містах, в тому числі для попередження загрози руйнування будівель та споруд житлового фонду та для їх реконструкції.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сучасні засоби екологічного моніторингу та інформаційно-управляючі системи, що забезпечують реалізацію моніторингу на урбанізованих територіях, є складними багатфункціональними багаторежимними розподіленими системами [1]. У таких системах здійснюється спільна обробка складно організованих даних і знань. Вони повинні розроблятися на основі сучасних інформаційних технологій, які забезпечили б їм істотне підвищення рівня інформаційної та інтелектуальної підтримки. Проблеми інформатизації при вирішенні екологічних завдань приймають фундаментальний характер у зв'язку з широким застосуванням локальних і глобальних обчислювальних мереж. Ефективність передбачення розвитку

екологічної ситуації (в тому числі і руйнувань) в тому чи іншому районі, на підприємстві або об'єкті залежить від вирішення цих проблем.

Виходом із ситуації є використання інформаційних технологій на базі знань. Подання та організація обробки знань про предметну область забезпечується в таких системах з метою підвищення ефективності управління та процесу прийняття рішень на різних рівнях ієрархії. Актуальність розгляду такого класу систем обумовлена їх здатністю до накопичення і узагальнення знань, до вироблення гіпотез та прогнозу і прийняття рішень. При вирішенні екологічних завдань виникають ситуації, коли або відсутні необхідні датчики первинної інформації, або існуючі засоби вимірювань не забезпечують отримання необхідної інформації в темпі з процесом, або в наявності є лише якісна інформація про об'єкт управління. У таких ситуаціях необхідно мати інформаційні технології, які дозволяють на основі комп'ютерної обробки якісної або нечіткої інформації про об'єкт отримати необхідну інформацію для управління.

В даний час отримання даних в діючій системі експериментального моніторингу урбанізованих територій викликає значні труднощі, які пов'язані з обмеженнями за кількістю даних еколого-аналітичного контролю і переліками спостережуваних компонентів, що обмежує оперативне управління якістю об'єктів навколишнього середовища на урбанізованих територіях в цілому. Найбільший економічний ефект і можливості використання результатів повинна дати система розрахункового моніторингу урбанізованих територій при реконструкції житлового фонду для запобігання надзвичайним ситуаціям. Але для оптимізації одержання та ефективного використання даних необхідно розробити поетапну технологію розрахункового моніторингу урбанізованих територій. Відповідно до сучасних уявлень [1–3] технологія розрахункового моніторингу урбанізованих територій передбачає наступні етапи:

Етап 1 – Розробка та використання засобів і методів спостереження.

Етап 2 – Оцінка стану об'єктів моніторингу, розробка нових регіональних показників стану для врахування індивідуальних особливостей території.

Етап 3 – Прогноз мінливості стану об'єктів моніторингу.

Етап 4 – Розробка рекомендацій для систем прийняття рішень.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

При аналізі стану об'єктів реконструкції житлового фонду на урбанізованих територіях серед безлічі видів інформації найважливішою є експериментальна інформація, що отримується безпосередньо при різного типу вимірах властивостей об'єкта і в процесі первинного перетворення результатів вимірювань, так звана вимірювальна інформація.

Але вихідна інформація про прогнозовані умови функціонування таких екосистем, результати моніторингу, які реально вдається зібрати і підготувати для вирішення екологічних завдань, в тому числі управлінських завдань в природоохоронній діяльності (що особливо важливо в даний час), виявляються, як правило, розподілені в часі і просторі, неповні, неточні, невизначені.

При вирішенні специфічних завдань моніторингу урбанізованих територій при реконструкції житлового фонду невизначеність проявляється

як невизначеність, що породжується недостатньою повнотою і спотвореннями інформації, обумовленими як складністю структур екологічних систем, так і складністю обліку зовнішніх впливів. Крім цього, вона проявляється як невизначеність, викликана різноманітністю природоохоронних технологій і умов існування та розвитку даної екосистеми.

Значна апріорна невизначеність, що не знімається в процесі вимірювань повністю, у зв'язку з принциповою неможливістю повного пізнання складних природних об'єктів, обумовлює необхідність залучення додаткових апріорних знань про неконтрольовані властивості об'єкта реконструкції та середовища його функціонування в повному обсязі, а також будь-яких форм для забезпечення прийнятної достовірності результатів шляхом інтеграції різнотипних потоків інформації.

Залежно від джерела інформації є можливість отримання та інтеграції потоків інформації наступних типів:

- числові (дані технічних вимірювань, дані статистичної звітності та інша можлива інформація, представлена у вигляді кількісної оцінки параметра або властивості об'єкта, тобто числового значення);
- лінгвістичні (дані експертних знань у вигляді експертних оцінок, дані текстових описів (інформація, яка має незаперечну важливість при аналізі стану об'єкта, але поки може бути інтерпретована тільки в зазначеній формі));
- аналітична (знання у вигляді функцій і залежностей);
- семантична (знання у вигляді правил);
- графічна (дані аеро- і космічної зйомки, наземного фотографування, дані аналітичних карт, графіків і діаграм);
- відео (фільми, кліпи і т. д.).

В якості базової методології для даної інформаційної технології обрана методологія байєсівського інтелектуального вимірювання (БІВ) на основі регулюючого байєсівського підходу (РБП). Ці вимірювання ґрунтуються на отриманні знань про об'єкт вимірювання та використанні їх в процесі вимірювання в сукупності з наявною апріорною інформацією, представленою у вигляді інформаційних потоків різних типів.

Інформаційні технології, методики вимірювань на основі байєсівського інтелектуального вимірювання (БІВ) і засоби реалізації БІВ у вигляді експертних систем (ЕС) та інтелектуально-вимірювальних комплексів (ІВК) є перспективним інформаційно-технічним середовищем для ефективного вирішення нових вимірювальних завдань моніторингу складних об'єктів в умовах значної апріорної невизначеності.

Нехай  $S$  – модель складного об'єкта, в даному проекті – модель об'єкта реконструкції житлового будинку, представленого в рамках методології РБП, у вигляді пов'язаних шкал, де  $I_j$  – число контрольованих інгредієнтів,  $J$  – число екологічно шкідливих чинників.

$$S = \{s_i * j\}, i=1, \dots, I_j, j = 1, \dots, J. \quad (1)$$

Умовно адекватна модель стану об'єкта реконструкції з урахуванням зазначених факторів на основі методології байєсівських інтелектуальних технологій (БІТ) може бути записана у вигляді:

$$S_{pl} = S_{al} * S_{bl} * S_{cl} \{O_{pl}\}, \quad (2)$$

де \* – символ байєсівської згортки, яка реалізується за формулою:

$$P(h_z | x_i | Y_i) = \frac{P(h_{k-1} | x_{k-1} y_{k-1}) \cdot P(h_k | x_k y_k)}{\sum_{j=1}^K P(h_{j-1} x_{j-1} | y_{i-1}) \cdot P(h_j | x_j | y_j)}. \quad (3)$$

Виходячи з основного рівняння БІВ (для моменту часу  $t = t_1$ ), ця модель може бути записана у вигляді сукупного результату БІТ:

$$\begin{aligned} \{S_p | \{MX\}_l\}_l &= \{ \arg \min C[\mathcal{E}_l(\{x\}_l | y_l)] \}; \\ y_l &= \{A_l; O_l; M_l\} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $C$  – умова оптимізації вибору рішення;  $\mathcal{E}_l$  – алгоритм рішення задачі формування управлінських рекомендацій;  $x_l$  – набір експериментальних даних;  $y_l$  – умова реалізації вимірювання, що складається з апіорної інформації  $A_l$ , обмежень  $O_l$  і метрологічних вимог  $M_l$ .

Ієрархічність структури моделі відповідно до рівнів ієрархії об'єкта та їх взаємозв'язок відбивається в горизонтальному і вертикальному напрямках. Для моделей БІТ вимога ієрархічності виконується, і модель  $S_{pl}$  представляється у вигляді формального запису:

$$S_{pl} = \begin{matrix} n & m \\ (*S_{il}) & (*S_{jl}) \\ i=1 & j=1 \end{matrix}, \quad (5)$$

де  $n$  і  $m$  визначають кількість рівнів ієрархії об'єкта екосистеми в горизонтальному і вертикальному напрямках відповідно.

У результаті обробки інформації на шкалах БІВ (інтеграції числової та лінгвістичної інформації) отримуємо безліч рішень з різними значеннями точності, надійності і достовірності значущих гіпотез.

Для оцінки якості рішень, отриманих на шкалах БІВ, необхідно створити комплекс метрологічних характеристик (КМХ), що дозволяє отримувати такі оцінки у вигляді кількісних показників. У КМХ включаються показники точності, надійності і достовірності рішень.

$$\{MX\}_S = \{\xi_S, V_S, R_S\}. \quad (6)$$

Показник для оцінки точності повинен базуватися на систематичній похибці, яка визначається відстанню між сусідніми елементами носія шкали

$\rho(h_S, h_{S+1})$ . При рівномірній шкалі ця величина буде постійною, при нерівномірній – ця складова дорівнює максимальній відстані між сусідніми елементами носія шкали:

$$\Delta_{\max} = \max_{h_S \in H_k} \rho(h_S, h_{S+1}). \quad (7)$$

Найбільш зручною формою подання показника точності є наведена систематична похибка:

$$\xi_S(\tau) = \frac{\Delta_{\max}}{\rho(h_K, h_1)}, \quad (8)$$

де  $\Delta_{\max}(\tau)$  – абсолютна похибка, що дорівнює максимальній відстані між сусідніми елементами носія шкали,  $\rho(h_K, h_1)$  – діапазон шкали  $H_K$ .

В остаточній формі вираз для визначення точності може бути записано таким чином:

$$\xi_S = \frac{\max_{h_S \in H_k} \rho(h_S, h_{S+1})}{\rho(h_K, h_1)}. \quad (9)$$

Надійність результату БІВ характеризує стійкість розв'язку. Показник надійності ґрунтується на рівнях похибок першого та другого роду і визначається як:

$$V_S = (1 - \alpha_S)(1 - \beta_S), \quad (10)$$

де  $\alpha_S$  – рівень похибок першого роду (що відображають ймовірність відкидання правильного рішення на шкалі);  $\beta_S$  – рівень похибок другого роду (що характеризують ймовірність прийняття неправильного рішення шкалою).

Рівень похибок першого і другого роду на шкалі вибирається як максимальні з усіх ймовірностей похибки першого і другого роду гіпотез шкали.

Ймовірності похибок першого і другого роду для гіпотез шкали обчислюють наступним чином:

$$\alpha_K = \sum_{i=1, i \neq k}^N \int_{h_i^{(l)}}^{h_i^{(r)}} f(x | h_k) dx, \quad (11)$$

$$\beta_K = \sum_{i=1, i \neq k}^N \int_{h_i^{(l)}}^{h_i^r} f(x | h_i) dx, \quad (12)$$

де  $f(x | h)$  – умовна щільність ймовірності надходження значення за умови вірності гіпотези  $h$ ;

$h_i^r$  – права роздільна байєсівська межа для  $i$ -ї гіпотези

$$h_i^r = \max x, \forall j, P(h_i) \cdot f(x | h_i) \geq P(h_j) \cdot f(x | h_j); \quad (13)$$

$h_i^l$  – ліва роздільна байєсівська межа для  $i$ -ї гіпотези

$$h_i^l = \min x, \forall j, P(h_i) \cdot f(x | h_i) \geq P(h_j) \cdot f(x | h_j). \quad (14)$$

Показником достовірності кожної гіпотези на шкалі служить апостеріорна ймовірність її появи, що визначається за формулою Байєса. Достовірність самої шкали при цьому дорівнює сумі достовірності гіпотез і відповідно рівна 1. Однак у багатьох випадках з практичних міркувань з метою видалення малозначущих гіпотез на шкалі залишають тільки набір гіпотез, які відповідають певним критеріям значимості. У такому випадку достовірність шкали визначається як:

$$R = R^a \sum_{h_j \in H_r} P(h_j), \quad (15)$$

де  $R$  – остаточна достовірність рішення на шкалі,  $R^a$  – достовірність шкали до видалення незначущих гіпотез,  $H_r$  – безліч значущих гіпотез на шкалі.

Таким чином, будь-яка операція обробки даних на шкалах БІВ повинна підтримувати описаний вище комплекс метрологічних характеристик – точність, надійність і достовірність.

Кожен природний об'єкт або середовище можуть бути представлені трьома основними групами факторів: власних характеристик об'єкта ( $S_{al}$ ), природно-природних характеристик ( $S_{bl}$ ), середовища функціонування об'єкта моделювання (ОМ) ( $S_l$ ) та антропогенних факторів ( $S_{cl}$ ). Модель типу МДО БІВ такого ОМ має вигляд:

$$S_l^{(o)} = S_{al}^{(o)} * S_{bl}^{(o)} * S_{cl}^{(o)} \{O\}_l. \quad (17)$$

КМХ такої моделі має вигляд:

$$\{MX\}_l^o = \{MX\}_{al}^o * \{MX\}_{bl}^o * \{MX\}_{cl}^o. \quad (18)$$

З урахуванням завдань (збору даних, отримання знань і прийняття рішень), що вирішуються в процесі моніторингу, модель може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} S_l^{OM} &= S_l^o * S_l^d * S_l^z * S_l^r \{O\}_l^{dzt}; \\ \{O\}_l^{dzt} &= \{O\}_l^d * \{O\}_l^z * \{O\}_l^r; \end{aligned} \quad (19)$$

де  $S_l^d; \{O\}_l^d; S_l^z; \{O\}_l^z; S_l^r; \{O\}_l^r$  – моделі та обмеження даних, знань і рішень, які використовуються при вирішенні завдань моніторингу для відповідних складових моделі.

KMX моделі (19) має вигляд:

$$\{MX\}_l^{OM} = \{MX\}_l^o * \{MX\}_l^d * \{MX\}_l^z * \{MX\}_l^r. \quad (20)$$

Унікальні можливості байесівського регулюючого підходу, методів БІВ та побудованих на їх основі інформаційних технологій для отримання, накопичення та використання нових знань в процесі моніторингу і прийняття рішень створюють основу для побудови моделей об'єктів і ситуацій, інформаційних технологій, засобів моніторингу об'єктів реконструкції житла та систем підтримки прийняття рішень.

На підставі всіх наведених міркувань основне рівняння для процесу моніторингу реконструкції житла як вимірювального процесу можна представити у вигляді:

$$S_l = S_l^{(ud)} * S_l^{(uz)} * S_l^{(ur)} \{O\}_l, \quad (21)$$

де символи  $ud, uz, ur$  означають етапи збору даних, отримання знань і прийняття рішень про стан житлового фонду міста відповідно.

Таким чином, концепція програмної реалізації моніторингу на основі байесівського інтелектуального вимірювання (БІВ) складається з таких етапів.

1) Підготовки вимірювань, що включає процеси: синтезу моделі об'єкта вимірювань і факторів, що впливають, синтезу структури алгоритму вимірювань, що забезпечує отримання необхідного результату вимірювань, а також оптимізації синтезованого алгоритму відповідно до конкретних умов вимірювань, що визначають вимірювальну ситуацію у вигляді сукупності апріорної інформації  $A_i = \{A_{ia}\}$ , метрологічних вимог завдання  $M_i = \{P_{im}\}$  і прийнятих обмежень  $O_i = \{O_{io}\}$ . На даному етапі вирішуються питання: що, де, коли, скільки часу, чим та як вимірювати стан житлових споруд, їх вплив на екологію та антропологічне середовище.

2) Отримання експериментальної вимірювальної інформації (зазвичай у формі даних).

3) Інтерпретації вимірювальної інформації у вигляді результату вимірів  $h_i$ , форма якого визначається метою моніторингу.

Множина  $\{t_i\}$  є множиною моментів часу проведення вимірювань в період часу від  $t_1$  до  $t_k$ . Процес вимірювань приймає циклічний характер з повторенням трьох вищевказаних етапів в кожному циклі. При цьому результати попереднього циклу вимірювань, згідно з властивостями БІВ, повинні використовуватися в якості апіорної інформації в подальшому.

В оптимізаційній формі запису рівняння БІВ може бути представлено у вигляді:

$$\begin{aligned} h_i &= \arg \min C[\varphi_{j_i}(x_i | z_{m_{1_i}}; f_{m_{2_i}}; d_{m_{3_i}}; Y_i)]; \\ \varphi_{j_i} &\in \Phi_{J_i}; \quad x_i \in X_{I_i}; \quad z_{m_{1_i}} \in Z_{M_{1_i}}; \\ d_{m_{3_i}} &\subset D_{M_{3_i}}; \quad f_{m_{2_i}} \subset F_{M_{2_i}}; \quad i = \bar{l}, \bar{k}; \quad t_i = [t_l, t_k] \end{aligned} \quad (22)$$

де оптимізація проводиться за множинами алгоритмів  $\Phi_{J_i}$  та результатами інформаційних вимірювань (значень параметрів  $Z_{M_{1_i}}$ , видів функціональних залежностей  $F_{M_{2_i}}$ , рішень  $D_{M_{3_i}}$ ) відповідно;  $C$  – узагальнений критерій прийняття рішення за результатами вимірювань.

Таким чином, ефективне вирішення завдань реконструкції реалізується із застосуванням інформаційних технологій, методики вимірювань на основі БІВ та засобами реалізації БІВ у вигляді експертних систем та інтелектуально-вимірювальних комплексів.

## Висновки

Сьогодні на основі наявних наукових даних і практичного досвіду [1, 2] представляється можливим прийняти наступні методологічні передумови для вирішення завдань, порушених у цій статті.

Реконструкція житлових архітектурних об'єктів вимагає системного підходу із застосуванням функціональних моделей, що реалізуються на основі застосування обчислювальної техніки та сучасних інформаційних технологій.

Об'єктом реконструкції та прогнозування є не технічна система (штучне середовище як матеріальна сфера протікання процесів життєдіяльності населення), а екологічна система «населення↔середовище» – демоекосистема (при розумінні житлового середовища тільки як матеріальної сфери зворотний зв'язок «населення←середовище» фактично не враховується, а це значить, що людина і її життєве середовище не перебувають у системному взаємозв'язку).

Прогнозування необхідних і можливих заходів реконструкції як своєрідне передбачення характеру поведінки досліджуваної або проектованої демоекосистеми в майбутньому може бути здійснено тільки на основі застосування формалізованої теорії у вигляді математичної моделі, яка адекватно відображає об'єкт реконструкції, що проектується або досліджується.



Сучасні методи екстраполяції та експертних оцінок без залучення суворої теорії можуть мати вельми обмежене застосування.

В силу того, що демоекосистеми функціонують в умовах неповної та ймовірнісної вихідної інформації, рекомендації з їх реконструкції можуть носити певною мірою імовірнісний, а не однозначний характер. І чим більш віддаленим від моменту прийняття рішення є термін його реалізації, тим ширшим може бути це «поле невизначеності», а проектні характеристики можуть мати більш рекомендаційний, а не директивний характер.

Відмінною особливістю процесу реконструкції архітектурних систем є не тільки відновлення втрачених в процесі експлуатації якостей житлового середовища, а й облік знову виникаючих вимог, пов'язаних як з науково-технічним прогресом, так і з інфраструктурними (демографічними, соціально-економічними і т. д.) змінами в цій області.

Все зростаюча складність сфери житла вимагає, у свою чергу, більш точного визначення об'єкта житлової науки і практики, а також застосування, поряд з традиційними творчими методами, системних методів кількісного аналізу з використанням сучасних інформаційних технологій. Від правильності визначення сутності (онтології) житлового середовища, що піддається реконструкції, багато в чому залежить не тільки (і не стільки) напрямок і обсяги капіталовкладень, а фізичне і моральне здоров'я населення.

Сьогодні ще немає загально визнаних системних методів реконструкції таких складних і відповідальних з точки зору демоекології об'єктів, як житло, однак на основі наявних розробок можна визначити деякі загальні вимоги до таких методів, що є корисними при розробці нормативних матеріалів для реконструкції.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Бобкова О.Н. Социальное жилье – вызов архитекторам // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2015. С. 14–22.
2. Вавилова Т.Я. Международный опыт реабилитации депрессивных жилых территорий в интересах устойчивого развития // Архитектон: известия вузов. 2015. № 49.
3. Stefan Forster [Електронний ресурс] // URL: <http://www.stefan-forsterarchitekten.de/de/stadtumbau/haus-1-lessingstrasse/> (дата звернення: 01.12. 2016).

*Стаття надійшла до редакції 02.03.2017*