

**М.М. Мельничук, магістр**  
**А.М. Шостачук, к.т.н., доц.**  
**Д.М. Шостачук, к.т.н., доц.**

*Житомирський державний технологічний університет*

## **УПРАВЛІННЯ ВИСОТНОЮ БУДІВЛЕЮ ЯК СКЛАДНИМ ОБ'ЄКТОМ. МОДЕЛІ РЕАКЦІЇ СИСТЕМИ**

*Викладено особливості задач та види системного управління висотною будівлею як складним об'єктом, наведено математичну постановку задачі визначення реакції системи на збурення та алгоритм визначення пріоритетів для багатокритеріальної задачі прийняття рішення.*

**Ключові слова:** висотна споруда, система управління, збурення, складна система.

**Вступ.** В наш час прогрес та економіка мають небачені раніше темпи розвитку і росту. Це позначається на необхідності більш раціонально використовувати всі ресурси. Зокрема будівлі, які будуються в великих містах та агломераціях, постійно “ростуть”. Висотне будівництво вимагає більш вимогливого ставлення до процесу спорудження та експлуатації об'єктів. Масивні навантаження та велика висота потребують значно більшої уваги з боку суб'єктів, які відповідають за життєвий цикл існування споруди. Велика кількість факторів, які впливають на стан будівлі, потребує особливого підходу до створення системи керування будівлею. Так, наприклад, коливання висотної споруди під впливом змінного вітрового навантаження є невід'ємною характеристикою її функціонування. Дослідження впливу вітрового навантаження, які, в зв'язку зі складністю та високою вартістю, проводять у спеціальних аеродинамічних трубах, враховують місцеву топографію в районі розташування забудови; особливості обтічності висотних споруд, які генерують спадні потоки; умови обладнання спеціальними вітрозахисними козирками входів і виходів, найбільш небезпечні для пішоходів; особливості обтічності у разі розташування подіуму поблизу перших поверхів; особливості захисту суцільних пасажів від протягів, які виникають через зміни тиску на протилежних боках; посилення вітру біля споруд, які мають заокруглену форму (будівлі “вітрила”, напівокруглені будови тощо); умови захисту пішоходів від несподіваних поривів вітру біля рогів будівель залежно від кута вітру; визначення планування розміщення будівель на майданчику забудови для вилучення критичної взаємодії вітрових потоків; планування захисного озеленення мікрорайонів з метою поліпшення екологічних умов існування людей, правильного розташування майданчиків відпочинку та дитячих розваг.

Серйозною проблемою висотних споруд є пожежна безпека. Досвід висотного будівництва в країнах ближнього зарубіжжя змушує підійти до проектування систем пожежогасіння у висотних будинках таким чином, щоб кожна квартира (приміщення) такого будинку була оснащена пожежною сигналізацією, щоб у ньому була власна автономна система пожежогасіння, аварійні ліфти. Пропонується розглянути можливість проектування й виготовлення стін такого будинку (щонайменше з інтервалом через кожні 5–7 поверхів) із вогнетривкого матеріалу. Деякі проекти висотних будинків передбачають навіть системи фасадного зрошення на випадок пожежі.

Для того, щоб забезпечити та проконтролювати його, необхідна велика кількість систем, які обов'язково повинні взаємодіяти між собою та узгоджено виконувати свої функції. Саме проблема неправильної взаємодії та необхідність централізованого контролю, управління й обробки даних породила потребу наявності у висотних будинках централізованої автоматизованої системи управління висотним будинком.

**Постановка завдання.** Як було зазначено в роботах [1, 2, 3], система керування висотною будівлею складається з багатьох підсистем, кожна з яких “відповідає” за свою “ділянку”. Зрозуміло, що стабільна робота всіх підсистем гарантує нормальну роботу системи взагалі. Разом з тим, аварійний режим, або вихід з ладу будь-якої підсистеми (або окремих елементів) може призвести до такого стану системи, який характеризується так званими “точками біфукації”, тобто система вже не має тієї функціональності, на яку вона розрахована і, відповідно, не забезпечує безпеку осіб, які там перебувають. Режим, що характеризується подібними незворотними змінами системи, в даній роботі не розглядається (подібні режими роботи системи, а також причини, що призводять до цього, можливості їх уникнення розглядаються в теорії катастроф). Таким чином, система повинна бути такою, яку можна спостерігати та якою можна керувати.

Оскільки кількість систем для кожного будинку має індивідуальний характер, все ж таки є такі, які мають місце у всіх взагалі та такі, що найбільш поширені. Система повинна мати первинний центральний модуль, який буде основним вузлом загальної ієрархії, а також набір згрупованих за схожістю виконуваних функцій систем, які також мають набір нижче підпорядкованих систем третього

рівня. Отже, це системи: контролю стійкості висотної споруди [4, 5, 6, 7], що містить системи контролю стану фундаменту, деформацій несучих конструкцій, управління коливаннями висотної споруди; рятування людей у випадку екстремальної ситуації (аварійної сигналізації та оповіщення, протипожежної безпеки, евакуації в екстремальній ситуації, забезпечення вентиляції та опалення); система забезпечення перебування людей у висотній споруді (освітлення та безперебійного енергопостачання, водопостачання та каналізації, ліфтів та ескалаторів, сміттепроводів); спостереження та безпеки (контролю доступу, спостереження за людьми (відео, аудіо, інфрачервоних датчиків), розпізнавання диму, отруйних та вибухових речовин, підземних паркінгів, діагностики та система переведення в аварійний режим, система термінової евакуації людей при виникненні небезпеки [8].

Велика кількість систем життєзабезпечення, необхідність їх коректної взаємодії для створення умов, що необхідно при прийнятті адекватних рішень та управлінні об'єктом, обумовлює застосування саме системного підходу до керування такими складними об'єктами, як висотна будівля.

**Викладення основного матеріалу.** При керуванні багатоповерховою будівлею важливим аспектом є процес прийняття рішення як при нормальному функціонуванні об'єкта керування (для таких випадків розроблені алгоритми "відпрацювання"), так і при виникненні нестандартних (надзвичайних) ситуацій, все розмаїття яких неможливо передбачити, але для яких важливо виробити критерії, при досягненні яких втрати будуть мінімальні. При виникненні пожежі в приміщенні, охопленому полум'ям, за наявності людей буде оптимальним один алгоритм роботи системи, що забороняє відключення вентиляції; а за їх відсутності – інший, який передбачає відключення вентиляції для швидкого гасіння пожежі. На рисунку 1 зображена система, на якій показано об'єкт керування (ОК), система управління (СУ), вектор заданих значень контрольованих параметрів  $\bar{G}$ , вектор дійсних значень цих параметрів  $\bar{Y}$ , вектор відхилень  $\bar{X}$  та вектор параметрів керування  $\bar{R}$ .

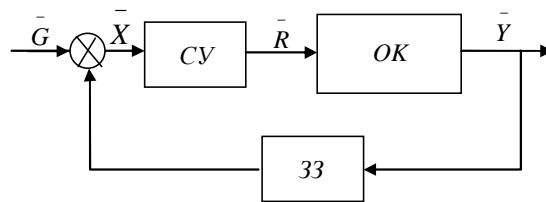


Рис. 1. Структурна схема системи керування висотною будівлею

При керуванні висотною будівлею необхідно розв'язати такі основні завдання:

- формалізований опис висотної будівлі як складного об'єкта, що є структурно-функціональним аналізом висотної будівлі як складної ієрархічної системи;
- формалізований опис можливих збурень (їх сукупностей) та набір можливих реакцій системи;
- інформаційний аналіз системних завдань та створення критеріїв, якими буде користуватися система при прийнятті рішень;
- прийняття рішень на основі отриманих даних.

В ОК відбуваються певні процеси, (події) про наявність яких можна судити за допомогою вектора  $\bar{Y}$ . При розгляданні функціонування системи життєзабезпечення висотної будівлі ми можемо спостерігати ряд процесів, які відбуваються в цілому. Їх можна згрупувати таким чином:

- а) події;
- б) реакції на події.

Процес, який, наприклад, відбувся в системі і впливав на певну структурну одиницю загальної системи, назвемо подією  $H_{ij}$ . Кожна з систем має набір всіх подій, які вона може ідентифікувати і передати на рівень вище для прийняття відповідних заходів по дотриманню вірного функціонування всього життєвого циклу існування висотного будинку, тобто математично це можна зобразити як матрицю **всіх подій всіх систем**:

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & \dots & H_{1k} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & \dots & H_{2m} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & \dots & H_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{i1} & H_{i2} & H_{i3} & \dots & H_{ip} \end{bmatrix}$$

Маючи певний набір дій, можна відокремити всі події, які надходять до центрального модуля. Наступний етап обміну – це реакція на кожну подію, яка трапилася, тобто на будь-яку подію будь-якої системи має бути передбачена реакція всіх інших систем. Зобразити цей набір можна відповідним чином за аналогією з матрицею подій, тобто це вже буде матриця реакцій на події:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & \dots & R_{1k} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & \dots & R_{2m} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & \dots & R_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{i1} & R_{i2} & R_{i3} & \dots & R_{ip} \end{bmatrix}$$

Отже, маючи ці дві складові, можна отримати картину логічних зв'язків взаємодії всіх складових. Крім того, для такої великої кількості систем потрібно оперувати таким критерієм, як першочерговість реакції, тобто, якщо на певну подію передбачено в кожній системі одна реакція, то взагалі їхня кількість може дорівнювати максимуму кількості систем. І всі реакції не можуть бути виконані одночасно, повинна бути витримана певна їх послідовність. Тобто є необхідність існування і врахування певного порядку, отже це буде коефіцієнт черги **Order**. Реакції можуть відбуватися відразу або через певний час, тому необхідно оперувати ще одним коефіцієнтом, коефіцієнтом часу –  $T$ .

Враховуючи все описане, вводимо поняття дії, тобто дія – це набір команд, які повинні бути виконані як одна або декілька реакцій на одну або різні події з врахуванням часу та черговості:

$$G_{ij} = f(H_{ij}, R_{ij}, \text{Order}, T).$$

Таким чином, система повинна в кожному конкретному випадку приймати рішення (робити вибір з множини допустимих рішень, або розрахувати нові параметри для регулювання системи). В загальному випадку задачу багатокритеріального вибору можна сформулювати таким чином. Задана множина альтернатив рішення деякої проблеми:

$$P = \{p_j\}_{j=1}^n$$

і множина критеріїв:

$$K = \{k_i\}_{i=1}^m$$

для оцінки корисності альтернатив. Задача полягає в ранжуванні множини альтернатив  $X$  відносно критеріїв  $K$ . Кожній альтернативі  $x_j$  особа, яка приймає рішення (ОПР), виставляє оцінки  $o_{ij}$  за всією множиною критеріїв  $K$ , тобто  $o_{ij}$  – це оцінка  $j$ -ої альтернативи за  $i$ -тим критерієм. Оцінки можуть виставлятися, наприклад, відповідно до бальної системи, або в межах нечіткої логіки.

Результати оцінювання можна представити у вигляді матриці рішень:

$$O = \begin{bmatrix} o_{11} & o_{12} & \dots & o_{1n} \\ o_{21} & o_{22} & \dots & o_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ o_{m1} & o_{m2} & \dots & o_{mn} \end{bmatrix}.$$

Математично це можна записати таким чином:

$$O = (o_{ij}), i = 1..m, j = 1..n.$$

Кожен стовпчик матриці – це вектор, який характеризує альтернативу, а кожний рядок – критерій. Припустимо, що альтернативи належать множині Парето, а найкращою вважається альтернатива, для якої оцінки досягають максимального або мінімального значення. В [9] запропонований алгоритм визначення пріоритетів для багатокритеріальної задачі прийняття рішень. У випадку керування висотною будівлею як складним об'єктом цей алгоритм буде мати такий вигляд:

**Крок 1.** Записати оцінки альтернативних рішень у вигляді рішень матриці рішень  $O$ .

**Крок 2.** Провести нормалізацію оцінок, тобто здійснити перехід до однаково спрямованих шкал, або представлення їх значень в однакових абсолютних величинах, або перейти до безрозмірних шкал – створити матрицю нормалізованих значень  $D$ .

**Крок 3.** Отримати матрицю  $A$  таким чином:

$$A = D^T \times D,$$

де  $D^T$  – матриця, транспонована до матриці  $D$ . Оскільки матриця  $D$  має розмірність  $m \times n$ , то відповідно матриця  $A$  матиме розмірність  $n \times n$ .

Елементи матриці  $A$  обчислюються таким чином:

$$a_{ij} = \sum_{l=1}^m d_{li} \times d_{lj}.$$

Тобто матриця  $A$  симетрична, оскільки  $a_{ij} = a_{ji}$ . Особливість симетричної матриці полягає в тому, що всі  $n$  власних значень – дійсні числа. Таким чином, отримана квадратна симетрична матриця  $A$ , інформаційний зміст якої – інтегральні оцінки важливості множини альтернатив  $X$  на множині критеріїв  $K$ .

**Крок 4.** Визначити для матриці  $A$  максимальне власне значення і відповідний йому власний вектор  $Y$ :

$$Y = (v_1 \dots v_n)^T.$$

**Крок 5.** Провести нормалізацію власного вектора, наприклад:

$$w_j = \frac{v_j}{\max_j v_j}.$$

**Крок 6.** Обчислити вектор пріоритетів:

$$\mu = (\mu_1 \dots \mu_n)^T,$$

де

$$\mu_j = \frac{w_j}{w_{j+1}}, j = 1, \dots, n-1.$$

Після чого скористаємося нормалізованим власним вектором  $w = (w_1, \dots, w_n)$ , проранжуємо альтернативи відносно величин  $w_j$  і побудуємо ряд  $P = \{1, \dots, n\}$ , який відповідає впорядкованій множині індексів альтернатив.

#### Висновки:

1. Оскільки висотна споруда є об'єктом підвищеної небезпеки для осіб, які в ній перебувають, вона потребує додаткових заходів, які повинні забезпечувати безпечні та комфортні умови перебування людей та їх рятування у випадку надзвичайних ситуацій.

2. Вказані заходи необхідно реалізовувати в межах автоматизованої системи контролю зі зворотнім зв'язком, враховуючи системи резервування, які б виключали так званий «людський фактор».

3. Система управління об'єктом (висотною спорудою) повинна мати формалізований набір можливих збурень та набір реакцій системи на кожне збурення (або їх сукупність), при цьому вводяться коефіцієнти, які характеризують небезпеку, першочерговість тощо.

4. При визначенні необхідної реакції на те чи інше збурення (або їх сукупність) система контролю стану висотної будівлі повинна користуватися алгоритмом визначення пріоритетів для багатокритеріальної задачі прийняття рішення.

#### Список використаної літератури:

1. Шостачук А.М. Комплексна система безпеки перебування людей у висотних спорудах: системний підхід / А.М. Шостачук, Д.М. Шостачук / Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2010. – № 3(54). – С. 128–134.
2. Мельничук М.М. Автоматизована система контролю безпеки і комфорту перебування людей у висотних спорудах / М.М. Мельничук, Д.М. Шостачук // Тези VIII Всеукр. наук. конф. студ., магістрів та аспір. “Сучасні проблеми екології та геотехнологій” (Житомир, 23–24 бер. 2011 р.). – 2011. – С. 231.
3. Козак Ю. Конструкции высотных зданий / Ю.Козак. – М. : Стройиздат, 1986. – 308 с.
4. Гончарова А.Г. Небезпечні коливання висотних споруд / А.Г. Гончарова, В.С. Сорочинський, А.М. Шостачук // Тези VII Міжнар. наук. конф. студ., магістрів та аспір. „Сучасні проблеми екології та геотехнологій” (Житомир, 24–26 бер. 2010 р.). – Т. 2. – Житомир, 2010, – С. 206–207.
5. О воздействии ветра на высотные монолитные здания / С.М. Ганин, А.С. Гузеев, А.О. Лебедев и др. // СтройПРОФИЛЬ. – № 8(54).
6. Инструментальное измерение ветровых колебаний высотных зданий / В.М. Острецов, Л.Б. Гендельман, А.Б. Вознюк и др. // Жилищное строительство. – 2005. – № 9. – С. 11–14.
7. Копилов О.Є. Аеродинамічна інтерференція систем висотних будівель і споруд циліндричної форми : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / О.Є. Копилов // Національний ун-т «Львівська політехніка». – Л., 2005.
8. Холщевников В.В. Проблема беспрепятственной эвакуации людей из высотных зданий и пути её решения / В.В. Холщевников // Строительная безопасность – 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.securpiess.ru/issue/SB/2006/count.htm>.

9. *Маляр Н.Н.* Подход к определению приоритетов альтернатив для задач многокритериального выбора / *Н.Н. Маляр* // Проблемы управления и информатики. – № 4. – 2011. – С. 63–67.

МЕЛЬНИЧУК Максим Михайлович – магістр кафедри Автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету

Наукові інтереси:

- математичне моделювання на ЕОМ;
- системний аналіз;
- програмування.

ШОСТАЧУК Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- екологія міста;
- стійкість висотних споруд;
- інженерна геологія.

ШОСТАЧУК Дмитро Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія систем;
- системний аналіз складних систем управління;
- математичне моделювання на ЕОМ.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2013