

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 005.8:316.422

О.Л. Соловей

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ***ПРИЙНЯТТЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА В УМОВАХ ЇЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ І РИЗИКУ**

Подано багатокритеріальну модель прийняття оптимальних рішень розвитку системи водопостачання міста в умовах невизначеності і ризику. Запропоновано методика побудови шкали оцінки критеріїв і вибору оптимальної альтернативи на основі математичного апарату теорії нечітких множин. Побудовано алгоритм прийняття оптимальних рішень розвитку системи водопостачання міста в умовах невизначеності і ризику.

Ключові слова: невизначеність, ризик, лінгвістична змінна, шкала оцінки критеріїв, прийняття оптимальних рішень

Постановка проблеми

Проектний підхід до розвитку і реконструкції система водопостачання (СВ) міста передбачає здійснення інвестицій, як державою так і приватним сектором економіки. Очевидно, що для досягнення цілей та результатів таких проектів з мінімальними витратами необхідно враховувати ризики, зумовлені неповнотою та неточністю вихідної інформації, ймовірнісним характером майбутніх подій, змінним зовнішнім і внутрішнім середовищем проекту.

Система водопостачання належить до класу систем, що постійно еволюціонують, як в просторі, так і в часі. Можлива багатоваріантність розвитку СВ зумовлює необхідність на кожному часовому інтервалі визначити найкращий варіант, тобто формувати оптимальний розв'язок, відповідний найменшим затратам. Ефективність вирішення цих задач визначається двома факторами: ступенем адекватності математичних моделей і точністю вихідних даних. Найважливішими вихідними даними для проектування розвитку СВ – це прогнози споживання ЦП в мережі. Недостатність знань механізмів цих процесів, вплив на них величезної кількості неконтрольованих або слабо контрольованих факторів призводить до того, що процеси є випадковими. Таким чином мережа, що проектується знаходиться у стані невизначеності.

Рішення прийняті в таких умовах можуть призвести до непередбачених наслідків, а саме:

- невиконання умов і обмежень, що пов'язані із потребами споживачів СВ;
- невиконання умов і обмежень, що пов'язані із вимогами до функціонування СВ;
- невиконання умов і обмежень, що пов'язані із економічними, часовими вимогами проекту.

Оскільки всі процеси проектів розвитку СВ, так чи інакше, пов'язані з прийняттям рішень (ПР), то модель життєвого циклу такого проекту повинна буди спрямована на управління ризиком, а модель ПР забезпечувати врахування фактору ризику.

Формулювання мети статті

Побудова багатокритеріальної моделі прийняття оптимальних рішень (ПОР) розвитку СВ за умов невизначеності і ризику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багатокритеріальна модель ПР без врахування фактору ризику і невизначеності була подана в роботах [4]. Критерії оцінки можливих альтернатив розвитку СВ були розглянуті в [2;4]. Невизначеність інформації в задачах ПОР частіше виражається через нечіткі числа [1].

Вирішення проблеми

У загальному випадку багатокритеріальна модель задачі прийняття оптимального рішення може бути представлена кортежем:

$$\langle X, K, W, Y \rangle \quad (1)$$

де $X = \{X_i\}$ – множина допустимих розв'язків; $K = \{K_j\}$ – множина критеріїв; $W = \{a_j\}$ – множина шкал оцінки критеріїв; Y – правило розв'язання.

Серед основних проблем моделі (1) можна виділити труднощі, що виникають при побудові шкали оцінки критеріїв W , можливість неотримання оцінки всіх варіантів розв'язків по шкалах критеріїв, відсутність гарантії дотримання умов і обмежень системи або іншими словами ризик – їх невиконання, що виникає в результаті прийняття

рішень в умовах невизначеності. Одним із найбільш поширених останнім часом математичним інструментом для роботи в умовах невизначеності є теорія нечітких множин. Теорія розрізняє такі моделі ПР при нечіткій інформації [1]:

1. За характером опису переваг можна виділити:

- моделі нечіткого математичного програмування (НМП);
- моделі нечітких відношень переваги на множині допустимих альтернатив;
- моделі нечіткої очікуваної корисності;
- лінгвістичні моделі прийняття рішень, що базуються на нечіткій логіці з лінгвістичними значеннями істинності.

2. За кількістю критеріїв, що використовуються – однокритеріальні і багатокритеріальні.

3. За кількістю ОПР виділяють моделі індивідуальних і колективних рішень.

4. За кількістю етапів моделі прийняття рішень поділяють на одноетапні і багатоетапні.

У випадку, коли модель ПР задана у вигляді цільової функції і обмежень, а нечіткість наявна в параметрах цих функцій або у вигляді вихідної нечіткої множини допустимих альтернатив, то рішення зводиться до задачі нечіткого математичного програмування (НМП).

Багатокритеріальна модель задачі ПОР розвитку СВ в умовах невизначеності і ризику належить до типу задачі НМП, де відбувається мінімізація функції f на заданій нечіткій множині допустимих альтернатив, для побудови моделі. Визначимо модель (1) як:

$$\langle X, R, K, LZ, Y \rangle \quad (2)$$

де $LZ = \{LZ_1, \dots, LZ_n\}$ – множина лінгвістичних змінних, за шкалою яких відбувається оцінювання кожного критерію; R – ризиків проекту розвитку СВ. Розглянемо зміст елементів моделі(2).

У моделі (2) множина X розв'язків являє собою сукупність розв'язків, що задовольняють певні обмеження і розглядаються як можливі способи досягнення поставленої цілі. На етапах проектування розвитку СВ результатом є гідравлічні розрахунки які, як правило, мають табличний вигляд. Такого роду інформація важко сприймається для прийняття рішення експертом, тому більш зручною формою представлення інформації є моделюючі графи системи. Кожен моделюючий граф виступає у ролі альтернативи X_i можливого розв'язку. Так, деякі з можливих альтернативи, $\{X_i\}$ розв'язку задачі приєднання нового споживача у вузлі 13 до існуючої мережі у вигляді моделюючих графів зображено на Рис. 1, за умови, що споживач повинен мати не менш, як два шляхи постачання.

Управління ризиком, у тому числі, включає кількісну оцінку ризику. Серед методів та засобів для кількісної оцінки ризику розрізняють [5]:

1 – очікуване грошове значення є продуктом двох показників: імовірності ризикової події; величини ризикової події;

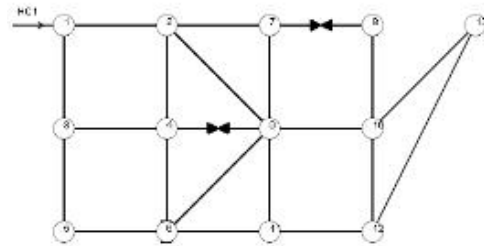


Рис. 1. Один із можливих розв'язків моделі (2)

2 – статистичні суми можуть бути використані для визначення діапазону загальних проектних вартостей по кошторисах для окремих елементів роботи;

3 – моделювання – використовує зображення, або модель, системи для аналізу поведінки (дії) системи;

4 – дерево рішень – діаграма, на якій зображено ключові взаємодії серед рішень і зв'язаних з ними випадкових подій;

5 – висновок експерта – застосовується замість математичних методів.

В проектах розвитку СВ, де життєвий цикл описується спіральною моделлю [3], кількісне значення ризику R (як деякого інтегрального показника), визначається, як величина обернена до імовірності успішного закінчення кожного циклу спіралі[7] і описується двопараметричним розподілом Вейбула-Гнеденко:

$$R=1-pdf=f(x, \alpha, \beta) = \left\{ \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right), 0 \leq x, 0 < \beta, 0 < \alpha \right\} \quad (3)$$

де

- β – рівень невизначеності;
- α – продуктивність праці;
- x – змінна величина, що відповідає тривалості робіт.

Кожна альтернатива X призводить до певного результату, наслідки якого оцінюються за критеріями K . Оскільки основною метою СВ є забезпечення існуючих і нових споживачів ЦП в потрібній кількості і під заданим тиском і за

мінімальних зведених затрат розглянемо такі домінуючі критерії [4]:

- будівельні витрати K_1 ;
- енергетичні витрати K_2 ;
- витрати, пов'язані з відхиленням фактичних тисків від планових K_3 .

Для оцінки кожного з критеріїв (K_1 K_2 K_3) побудуємо шкалу за допомогою ЛЗ «Витрати» з термами: Т=(«низькі», «близькі до низьких», «середні», «близькі до високих», «високі»), де наприклад, значення терму «низькі» буде характеризувати таке значення критерію «будівельні витрати K_1 », як низькі, значення терму «середні» відповідно, як середні і т.п. Для використання ЛЗ в моделі (2) необхідні процедури побудови відповідної функції належності (ф. н.). Методи побудови ф. н. класифікуються за чотирма аспектами [1]:

- 1 – тип області визначення нечіткої множини: числова (а) або непевна (в), нечислова (с);
- 2 – спосіб опитування експертів: індивідуальний (d_1), груповий (d_2);
- 3 – тип інформації, що використовується: порядкова (e_1), кардинальна (e_2);
- 4 – інтерпретація даних експертного опитування: імовірна (D), детермінована (N).

Ф. н. ЛЗ «Витрати» належить до типу $\langle a, d_1, e_2, N \rangle$ значення формуються спираючись на досвід і формуються на основі кількісного порівняння ступенів належності індивідуальним ОПР. Результатом опитування ОПР виступає матриця

$M = \|m_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, n}$ розміром $n \times n$, де n – кількість точок u_i в яких порівнюються значення функції. Елемент m_{ij} є суб'єктивною оцінкою відношення $\mu_A(u_i) / \mu_A(u_j)$ і показує, у скільки разів на думку ОПР $\mu_A(u_i)$ більше $\mu_A(u_j)$. При цьому кількість запитань до ОПР складає не n^2 але $\frac{n(n-1)}{2}$, оскільки за визначенням $m_{ij} = 1 / m_{ji}$ з метою погодження оцінок ОПР приймає, що $m_{ji} = 1 / m_{ij}$.

Значення ф. н. $\mu_A(u_1), \mu_A(u_2), \dots, \mu_A(u_n)$ в точках u_1, u_2, \dots, u_n визначаються на основі розв'язання задачі знаходження власного вектора матриці М:

$$M\Phi^T = v_{\max}\Phi,$$

де $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – власний вектор розмірності n ; v_{\max} – максимальне власне число матриці М; T – символ транспонування. Оскільки матриця М позитивна за будовою, то розв'язок задачі завжди існує і існує тільки один. Остаточоно отримаємо:

$$\mu_A(u_i) = \frac{\Phi_i}{\sum_{i=1}^n \Phi_i}.$$

При цьому значення ф. н. $\mu_A(u_i)$ стають вимірними в шкалі відношень.

Для ЛЗ «Витрати» ф. н. графічно представлені на рис.2, де для терму «середні» ф. н. приймає вигляд нормовано-інтегральної функції.

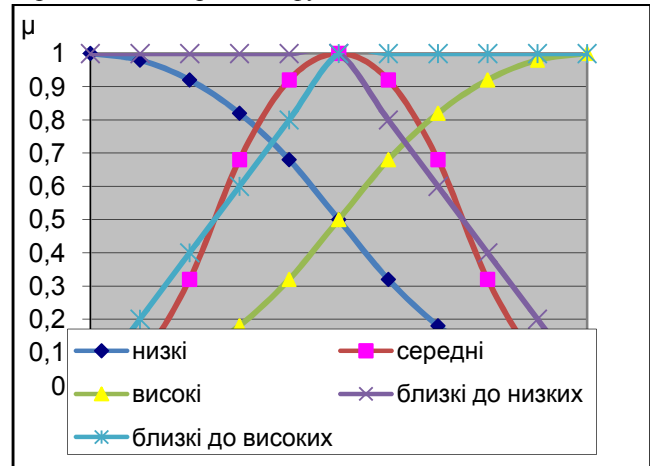


Рис. 2. Нечітка множина ЛЗ «Витрати»

Ступінь належності нечітких множин ЛЗ «Витрати» із шагом дискретизації, що дорівнює 0,1 представлені в табл.1.

Для побудови матриці числових оцінок кожної альтернативи X нечітка множина ЛЗ «Витрати» приводиться до чіткості. Трансформація нечіткої множини значень ЛЗ «Витрати» в дискретне рішення може бути виконана одним із методів [1], серед яких зазначимо:

- метод центра тяжіння;
- метод максимуму критерію;
- метод першого максимуму;
- метод середнього центру;
- метод середнього значення максимуму.

Найбільш поширений серед яких метод центру тяжіння:

$$y_0 = \frac{\sum_i \mu(y_i) y_i}{\sum_i \mu(y_i)}. \quad (4)$$

У випадку, коли шкала оцінки критеріїв W побудована на основі однієї ЛЗ оптимальна альтернатива може бути знайдена за чітким правилом виводу, а саме така, що задовольняє єдиному критерію.

Для СВ за умов невизначеності і ризику, виходячи зі стану зовнішнього середовища, використовується різні критерії [6]:

1. Критерій максимуму виконується, якщо навколишнє середовище веде себе найгіршим для СВ чином (наприклад, на деякому t_i проміжку часу

планового розвитку мережі не виконуються умови керованості і за рахунок ЗЦП в СВ не можна привести її в режим повної працездатності).

2. Критерій максимального співчуття (критерій Севіджа) використовується, якщо зовнішнє середовище веде себе не найгіршим чином для СВ (наприклад, на t_i -му плановому кроці розвитку СВ не виконуються умови повної керованості мережі, але включення запасів (за умов їх надлишку), приводить мережу в режим повної працездатності).

3. У випадках, коли немає повної впевненості в одержанні розподілу ймовірностей виходів використовується критерій Ходжі-Лимана. Для СВ така задача характерна при мінімізації ентропії СВ, що знаходиться в одному з прогнозованих станів \sum_i , за умов, коли практично неможливо визначити випадкові характеристики, наприклад сподівання і дисперсію, надлишку (або дефіциту) запасу цільового продукту в кожній гілці.

Єдиним критерієм вибору альтернативи для СВ розвиток якої описується спіральною моделлю [3], повинен бути критерій, що дозволить отримати альтернативи з урахування ризику R. Таким критерієм може виступати критерій Гурвіца, де значення ризику відповідає значенню "коефіцієнт песимізму" (χ). Тоді критерій Гурвіца для СВ за умов невизначеності і ризику набуває такого вигляду:

$$K_5(X^*) = \max_j (R \min_i L_{ji} + (1-R) \max_i X_{ji}), \quad (5)$$

де R – ризик, притаманний кожному i-му циклу моделі [3] і визначений за формулою (3); матриця числових оцінок L, отримана після дефазифікації нечітких значень ЛЗ «Витрати» методом (4).

Управління ризиком, у тому числі, включає розвинення реакції на ризик [5]. Серед реакцій на ризик виділяють:

1. Закупівлі – реакції на ризики, зв'язані з специфічною технологією;
2. Планування невизначеностей – визначення дійових кроків, які мають бути зроблені, якщо стануться певні ризикові події;
3. Альтернативні стратегії – зміна запланованого підходу;
4. Страхування – тип збитків, що відшкодовуються.

Один із способів завдання альтернативних стратегій є різні вагові коефіцієнти критеріїв оцінки можливих розв'язків моделі (2). Прикладом таких стратегій для СВ можуть бути: стратегія забезпечення будь-якою ціною задоволення потреб споживачів; стратегія орієнтована на мінімізацію затрат на експлуатацію мережі за рахунок зниженого задоволення потреб споживачів і т.п.

Для того, щоб оптимальна альтернатива відповідала обраній стратегії, в циклі спіральної моделі [3], де значення ризику визначено як задовільне, єдина оптимальна альтернатива обирається за методом вагових коефіцієнтів:

$$K = \text{MIN} \left(\sum_{j \in J} S_1 K_{1j}, \sum_{j \in J} S_2 K_{2j}, \dots, \sum_{j \in J} S_n K_{nj} \right) \quad (6)$$

де S_i - вагові коефіцієнти кожного критерію K_i .

З огляду викладене, побудуємо схему-алгоритм розв'язку задачі (Рис. 3). Опишемо функціональне призначення кожного блоку наведеного алгоритму:

Блок 1. Вводиться ризик, притаманний i-му циклу моделі [3] і отриманий за формулою (3).

Блок 2. Вводиться множина допустимих альтернатив у вигляді моделюючих графів (рис. 1) і матриця їх якісних оцінок, отриманих на базі ЛЗ „Витрати”.

Блок 3. Матриця числових оцінок L_{ij} для кожного моделюючого графу, сформована після приведення до чіткості за методом (4) нечітких множин (Рис. 2).

Блок 5. Оптимальні альтернативи оцінюються за критерієм Гурвіца (5).

Блок 6. Ітеративна процедура, що забезпечує або перехід у блок вибору остаточної альтернативи, або продовження пошуку альтернатив на звуженій множині.

Блок 7. Остаточна альтернатива, вибирається методом вагових коефіцієнтів (6).

Блок-схема побудована для моделі (2), коли для шкалювання критеріїв використовується одна ЛЗ у випадку, коли ЛЗ більш ніж одна, вибір оптимальної альтернативи для кожної ЛЗ виконується за алгоритмом (Рис. 3) але вибір оптимального рішення виконується методом Белмане-Заде [1].

Таблиця 1

Значення ф. н. ц, що відповідають термам ЛЗ «Витрати»

Терм	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Високі	0	0,02	0,08	0,18	0,38	0,5	0,68	0,82	0,92	0,98	1
Близькі до високих	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1	1	1	1	1
Середні	0	0,08	0,32	0,68	0,92	1	0,92	0,68	0,32	0,08	0
Близькі до низьких	1	1	1	1	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Низькі	1	0,98	0,92	0,82	0,68	0,5	0,32	0,18	0,08	0,02	0

Висновки

Проведений аналіз особливостей розвитку СВ дозволив побудувати багатокритеріальну модель ПОР розвитку СВ за умов невизначеності і ризику. Запропонована модель забезпечує підтримку прийняття ОПР з урахуванням кількісного значення ризику і обраній стратегії реакції на ризик.

Побудований алгоритм, спрямований на знаходження оптимальної альтернативи розвитку СВ на базі апарату теорії нечітких множин і підходів до проектування розвитку СВ, що описується спіральною моделлю [3].

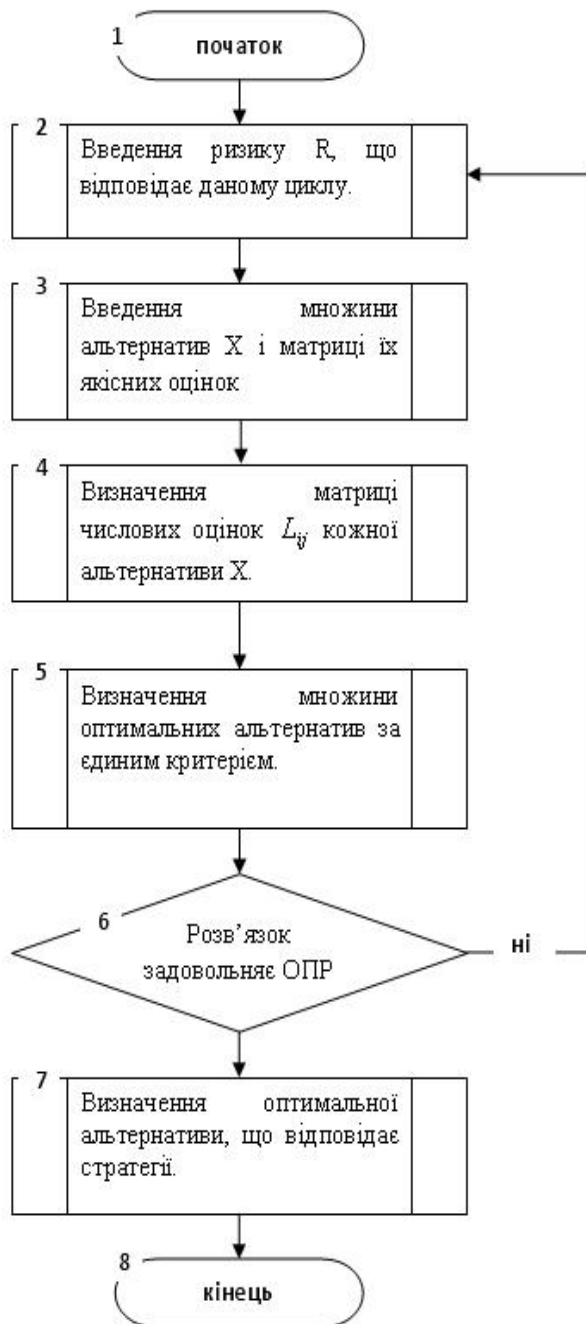


Рис. 3. Алгоритм знаходження оптимальної альтернативи розвитку СВ в умовах невизначеності і ризику

Список літератури

1. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений./ А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев и др.-М.: Радио и связь, 1989.*
2. *Рябченко И.Н. Моделирование процессов потокораспределения в системах подачи и распределения воды с использованием ПЭВМ.- Харьков: LCD основа при Харьковском ун-те, 1998.-188с.*
3. *Михайленко В.М., Соловей О.Л. Проектний підхід як інноваційний механізм розвитку системи водопостачання міста//Управління розвитком складних систем.-2011.-№5. С.82-86.*
4. *Кошарна Ю.В. Математична модель системи оперативного управління режимами комунікаційних систем за умови здійснення задачі управління проектом їх довгострокового розвитку// Весник ХНТУ.- 2006.-№2(25).- с.257-262.*
5. *Керівництво з питань проектного менеджменту РМВОК, К.: ВПОЛ, 199.-197с.*
6. *Форкун Ю.В., Михайленко В.М., Форкун И.В. Обобщенная модель оптимальной оценки управляемости многомерных коммуникационных сетей в условиях их планового развития//Збірник наукових праць УДМУ.- Миколаїв, 1999.-№2(362).-с.101-111.*
7. *B.W. Boehm, Software Engineering Economics Prentice Hall, 1981.*

Стаття надійшла до редколегії 25.07.2011

Рецензент: канд.техн.наук, доцент, В.В. Демченко, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ