

О.Л.Соловей

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

## МЕТОД НЕЧІТКОГО ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦЬ ПОВНОЇ КЕРОВАНОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА ЗА РАХУНОК ВЛАСНИХ РЕСУРСІВ В УМОВАХ ЇЇ ПЛАНОВОГО РОЗВИТКУ

Розглянуто проблему ймовірнісного підходу для розв'язання задачі визначення границь повної керованості мережі за рахунок власних ресурсів. Запропоновано метод, який на основі правил нечітких продукцій для будь-якого часу  $T$  функціонування системи водопостачання міста дає змогу визначити «довжину» інтервалу її повної керованості за рахунок власних ресурсів на  $T + t_i$ -му часовому проміжку її планового розвитку. Наведено приклад нечіткого логічного виведення «довжини» інтервалу, на основі якого зроблено висновок щодо можливостей повної керованості мережею.

**Ключові слова:** нечіткі множини, лінгвістичні змінні, правила нечітких продукцій, експертні оцінки

### Постановка проблеми

З переходом України до ринкової економіки здійснюється постійне реформування житлово-комунального господарства (ЖКГ), яке передбачає технічне переоснащення цієї галузі і наближення до вимог Європейського Союзу щодо якості послуг, використання енергетичних і матеріальних ресурсів.

У той же час зовнішнє середовище, в якому розвиваються системи водопостачання, стає більш складним, малопередбачуваним, зі зростаючою кількістю невизначеностей. Таким чином, менеджери для успішного виконання проектів розвитку та реконструкцій систем водопостачання змушені розробляти нові стратегії управління, спрямовані на впровадження нововведень, гнучкість, зменшення термінів виконання проекту та зменшення фінансових витрат.

Спіральна модель управління ЖЦ проекту РгаР СВ запропонована в [3], забезпечує управління ЖЦ проекту відповідно до обраної стратегії шляхом розбиття всього проекту на послідовні ітерації - витки спіралі, де кожен виток включає всі фази ЖЦ, а саме: ініціалізацію, проектування, будівництво, випробування і закінчується експлуатацією.

Для реалізації проекту згідно такого підходу на кожному  $i$ -му зав'язі спіралі необхідно визначити границі можливостей управління мережею за рахунок власних ресурсів на  $i+1$ -му витку.

МЕТОД НЕЧЕТКОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ  
ПОЛНОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ  
СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
ГОРОДА ЗА СЧЕТ  
СОБСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ В  
УСЛОВИЯХ ЕЕ ПЛАНОВОГО  
РАЗВИТИЯ

Рассмотрена проблема вероятностного подхода для решения задачи определения границ полной управляемости сети за счет собственных ресурсов. Предложен метод, который на основе правил нечетких продукций для любого времени функционирования системы водоснабжения города позволяет определить «длину» интервала ее полной управляемости за счет собственных ресурсов на  $T+t_i$ -м - временном промежутке ее планового развития. Приведен пример нечеткого логического вывода «длины» интервала, на основе которого сделан вывод о возможности полной управляемости сети.

METHOD OF FUZZY BORDER  
FULL CONTROLLABLY CITY  
WATER SUPPLY SYSTEM FROM  
ITS OWN RESOURCES IN TERMS  
OF ITS PLANNED DEVELOPMENT

The problem of the probabilistic approach to solve the problem of determining the boundaries of complete controllability network using its own resources. A method based on fuzzy rules for productions at any time functioning city water supply system lets you define "long" range of complete controllability from its own resources at the time interval of the planned development. An example of fuzzy inference "length" of the interval on which to base a conclusion on how to complete manageability network.

Розв'язок такої задачі з позицій ймовірнісного підходу було запропоновано в роботі [1]. Згідно підходу стан мережі на  $T$ -му часовому етапі функціонування СВ характеризують величини  $q_i$ ,  $Q_e^{(3)}$ ,  $Q_e^{(u)}$ , де  $q_i$  витрати на  $i$ -й ділянці мережі;  $Q_e^{(3)}$  - витрати, що отримує джерело запасів цільового продукту (ДЗЦП), розташовано в  $e$ -й вершині;  $Q_e^{(u)}$  - витрати, що отримує споживач, розташований в  $e$ -й вершині.

Умовою повної працездатності мережі є виконання мережею для споживачів технологічних вимог, тобто:

$$q_{i,\min} \leq q_i \leq q_{i,\max} ; \quad (1)$$

$$h_{i,\min} \leq h_i \leq h_{i,\max} ; \quad (2)$$

де обмеження (1)-(2) визначають область керованості  $\Omega(\vec{q})$  мережею за рахунок власних ресурсів на  $T$ -му часовому етапі її функціонування.

У процесі прогнозованого розвитку випадкові величини  $q_i^*$ ,  $Q_e^{(3)*}$ ,  $Q_e^{(u)*}$  пов'язані співвідношенням:

$$q_i^* = \alpha_i q_i;$$

$$Q_e^{(3)*} = \beta_e Q_e^{(3)};$$

$$Q_e^{(u)*} = \varepsilon_e Q_e^{(u)},$$

де  $\alpha_i, \beta_e, \varepsilon_e$  - параметри невідповідних величин, які відображають зміни внутрішньої структури СВ.

Область керованості  $\Omega(\vec{q}^*)$  на  $T + t_i$ -му часовому етапі функціонування СВ як потоком, так і тиском описується виразами:

$$q_{i,\min}^* \leq q_i^* \leq q_{i,\max}^* ; \quad (3)$$

$$h_{i,\min}^* \leq h_i^* \leq h_{i,\max}^* . \quad (4)$$

Зміни області керованості обумовлені ентропією безперервного розподілу ймовірностей змінної  $q_i$ , яка з класичного визначення [4] ентропії безперервного розподілу ймовірностей змінних  $q_1(t_0), \dots, q_n(t_0)$  має вигляд:

$$H = \log_2 \sqrt{(2\pi e)^n |K|} ,$$

де  $|K|$  визначник матриці кореляції  $K$ , елементи якого відбивають ступінь залежності між математичним сподіванням та дисперсією витрат потоку у гілках мережі, які визначають ймовірнісні стани мережі. Оскільки дістати числові значення елементів визначника коваріаційної матриці на етапі проектування для споживачів і джерел неможливо [5] (їх можна визначити лише експериментально в процесі експлуатації СВ, вимірявши значення випадкових величин у різні моменти часу на входах та виходах системи, а далі статистично обробивши їх), то на практиці для формування коваріаційної матриці вдаються до досвіду експертів. Згідно [2], апарат теорії нечітких множин та нечіткі системи є більш ефективним інструментом для розв'язку задач, де для пошуку рішень застосовуються експертні знання та оцінки.

Застосуємо нечіткий підхід та розробимо метод визначення границь можливостей для управління мережею на  $T + t_i$ -му часовому етапі її функціонування за рахунок власних ресурсів

визначених на  $T$ -му часовому етапі її планового розвитку.

### Мета статті

Мета статті - обудова алгоритму нечіткого логічного виведення «довжини області керованості» мережі на  $T + t_i$ -му часовому етапі її функціонування за рахунок власних ресурсів визначених на  $T$ -му часовому етапі її планового розвитку.

### Основна частина

Розглянемо теоретичні аспекти побудови алгоритму нечіткого логічного виведення. Алгоритм нечіткого логічного виведення визначається такими кроками [6]:

1. Перетворення чітких вхідних змінних на нечіткі, тобто визначення ступеня відповідності входів кожній із нечітких множин;
2. Обчислення правил нечітких продукцій на основі використання нечітких операторів та застосування імплікації для отримання вихідних значень правил;
3. Агрегування нечітких виходів правил у загальне вихідне значення;
4. Перетворення нечіткого виходу правил на чітке значення.

Перетворення чітких вхідних змінних на нечіткі здійснюється на основі синглетонної моделі. Синглетон чіткого значення  $x_s$  є нечітка множина  $T = \{x_1 / \mu_T(x_1), x_2 / \mu_T(x_2), \dots, x_m / \mu_T(x_m)\}$ , де  $\mu_T(x)$  - функція належності кожного  $x$  множині  $T$ .

Під правилами нечітких продукцій або просто - нечіткою продукцією, розуміють вираз такого вигляду:  $(i): Q; P; A \Rightarrow B, S, F, N$ , в якому всі компоненти визначені, за винятком того, що умова ядра (антецедент)  $A$  і висновок ядра (консеквент)  $B$  являють собою нечіткі лінгвістичні висловлювання вигляду  $\beta \in \alpha$ , де  $\beta$  - найменування лінгвістичної змінної;  $\alpha$  - її значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм з базової терм-множини  $T$  лінгвістичної змінної  $\beta$ .

База правил нечітких продукцій являє собою кінцеву множину правил нечітких продукцій, що погоджені відносно використовуваних в них лінгвістичних змінних. База правил вважається заданою, коли визначено множину правил нечітких продукцій  $R = \{R_k | k = 1..N\}$ , множину вхідних лінгвістичних змінних  $T = \{T_t | t = 1..M\}$  і множину вихідних лінгвістичних змінних  $B = \{B_t | t = 1..M\}$ .

Правила  $R$  акумулюють знання у вигляді нечіткої імплікації  $R = T \rightarrow B$ , яку можна розглядати як нечітку множину на декартовому

добутку носіїв вхідних та вихідних розмитих множин. Процес отримання нечіткого результату  $B'$  з нечітких вхідних множин  $T'$  на основі знань  $T \rightarrow B$  можна зобразити у такому вигляді:

$$B' = T' \bullet R = T' \bullet (T \rightarrow B),$$

де  $\bullet$  - композиційне правило нечіткого виведення.

Для кожного правила визначається рівень його істинності  $\alpha_k$  стосовно входів. Рівень істинності є дійсним числом, яке характеризує ступінь відповідності нечітких входів системи  $T'_i, i=1..n$  заданим у правилах нечітким множинам  $T_{i,j}, j=1..m_i$ :

$$\alpha_k = \min_{i=1}^n \left[ \max_{X_i} (T'_i \wedge T_{i,j}) \right],$$

де  $X_i$  - простір визначення входів  $T'_i, i=1..n$ ; операція  $\wedge$  - нечітка кон'юнкція.

Кожне із правил є нечіткою імплікацією, яка визначає вихідне значення залежно від рівня істинності лівої частини правила. Нечітка імплікація за Мамдані визначається як мінімум лівої й правої частин:

$$B'_k = \min(\alpha_k, B_k), k=1..N$$

Завершальним етапом є агрегування виходів правил – нечітка диз'юнкція вихідних множин:

$$B'_k = \max(\alpha_k, B'_k), k=1..N$$

Після визначення індивідуальних виходів правил здійснюється дефазифікація агрегованого виходу. Отже, етап дефазифікації є не обов'язковим і в цій статті не буде застосований.

Побудуємо алгоритм нечіткого логічного виведення «довжини інтервалу керованості» мережі.

Приймемо, що множина вхідних змінних, описується лінгвістичними змінними  $T = \{T_1, T_2\}$ ,

де  $T_1$  - «зміни координат витрат, що отримує споживач, розташований в  $e$ -й вершині,  $Q_e^{(u)}$ »;  $T_2$  - «зміни координат витрати, що отримує ДЗЦП, розташоване в  $e$ -й вершині,  $Q_e^{(3)}$ », які визначаються на універсальній множині  $[0..1]$  і складаються з термів: "низькі", "середні", "високі". Вихідною лінгвістичною змінною є «довжина інтервалу керованості», що визначатиметься на універсальній множині  $[0..1]$  і складатиметься з термів: «коротка», «середня», «довга».

Функції належності вхідних змінних  $T = \{T_1, T_2\}$  визначають нечіткі значення «низькі», «середні», «високі» такими нечіткими множинами:

$$\mu_{\langle \text{низькі} \rangle}(x) = e^{-\frac{(x-0,2)^2}{0,08}} = T_{\langle \text{низькі} \rangle} = \{0/0,61; 0,2/1,0; 4/0,61; 0,6/0,14; 0,8/0,01; 1/0\};$$

$$\mu_{\langle \text{середні} \rangle}(x) = e^{-\frac{(x-0,5)^2}{0,08}} = T_{\langle \text{середні} \rangle} = \{0/0,04; 0,2/0,32; 0,4/0,88; 0,6/0,88; 0,8/0,32; 1/0,04\};$$

$$\mu_{\langle \text{високі} \rangle}(x) = e^{-\frac{(x-0,7)^2}{0,08}} = T_{\langle \text{високі} \rangle} = \{0/0,2/0,04; 0,4/0,32; 0,6/0,88; 0,8/0,88; 1/0,32\}.$$

Вихідна змінна «довжина інтервалу керованості» описується нечіткими множинами:

$$T_{\langle \text{коротка} \rangle} = \{0/0; 0,2/0; 0,4/0; 0,6/0,5; 0,8/0,8; 1/0\};$$

$$T_{\langle \text{середня} \rangle} = \{0/0; 0,2/0; 0,4/0,3; 0,6/0,5; 0,8/0,8; 1/0\};$$

$$T_{\langle \text{довга} \rangle} = \{0/0; 0,2/0,2; 0,4/0,3; 0,6/0,5; 0,8/0,8; 1/0\}.$$

Для вироблення нечіткого висновку щодо «довжини інтервалу керованості» наведемо декілька з множини правил  $R = \{R_k | k=1..N\}$  (таблиця).

Таблиця

**Множина правил нечітких продукцій нечіткого логічного виведення «довжини інтервалу керованості»**

Правила
<b>Якщо</b> «зміни координат витрати, що отримує ДЗЦП» = "низькі" <b>І</b> «зміни координат витрат, що отримує споживач» = "низькі" <b>Тоді</b> «довжина інтервалу керованості» = "довга"
<b>Якщо</b> «зміни координат витрати, що отримує ДЗЦП» = "середні" <b>І</b> «зміни координат витрат, що отримує споживач» = "середні" <b>Тоді</b> «довжина інтервалу керованості» = "середня"
<b>Якщо</b> «зміни координат витрати, що отримує ДЗЦП» = "високі" <b>І</b> «зміни координат витрат, що отримує споживач» = "високі" <b>Тоді</b> «довжина інтервалу керованості» = "коротка"
<b>Якщо</b> «зміни координат витрати, що отримує ДЗЦП» = "високі" <b>І</b> «зміни координат витрат, що отримує споживач» = <b>НІ</b> "високі" <b>Тоді</b> «довжина інтервалу керованості» = "середня"

Для наочності роботи алгоритму нечіткого виведення розглянемо деяку тестову мережу водопостачання, що має насосну станцію (НС),

водовід від НС до вежі, вежу і водовід від вежі до початку мережі (рисунок), ДЗЦП розташовано у вузлі №6.

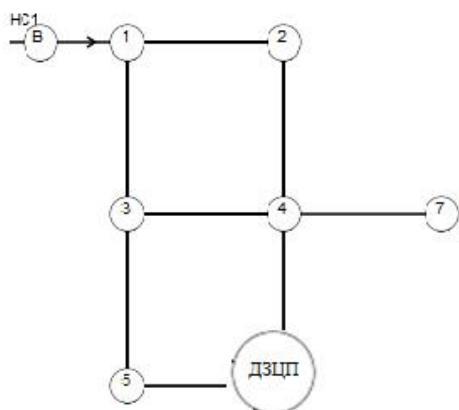


Рисунок. Тестова мережа

У результаті розрахунку потокорозподілу отримані значення витрат  $Q_e^{(u)}$ , що несуть споживачі, розташовані у вузлах мережі,  $m^3/c$ . Вузол № 1: 0.096; № 2: 0.2; № 3: 0.47; № 4: 0.77; № 5: 0.56; № 6: 0.79; № 7: 0.4.

Значення витрат  $q_i$  на ділянках мережі,  $m^3/c$ : Ділянка №: В-1: - 0.08; 1-2: - 0.12; 1-3: - 0.55; 2-4: - 0.54; 3-4: - 0.48; 3-5: - 0.6; 5-6: - 0.44; 4-6: - 0.57; 4-7: - 0.38.

Витрати ДЗЦП  $Q^3$  дорівнюють  $0,2m^3/c$ .

Приємо, що експертні оцінки щодо параметрів невідповідних величин  $\alpha_i, \beta_e, \varepsilon_e$ , які відображають зміни внутрішньої структури СВ на  $(T + t_i)$ -му етапі її розвитку дорівнюють 1, а щодо області керованості потоками за рахунок внутрішніх ресурсів нечіткі терми визначені інтервалами: «довгий» – [0.02..0.8]; «середній» – [0.35..0.6]; «вузкий» – [0.5..0.65].

Виконаємо кроки 1-3 алгоритму нечіткого виведення для визначення «довжини інтервалу керованості» ділянка «В-1».

Нечіткі множини вхідних змінних після фазифікації:

$$T'_{1<низький>} = \{0/0.61; 0.2/1; 0.4/0.61; 0.6/0.14; 0.8/0.01; 1/0\};$$

$$T'_{1<середній>} = \{0/0.04; 0.2/0.32; 0.4/0.32; 0.6/0.32; 0.8/0.32; 1/0.04\};$$

$$T'_{1<високий>} = \{0/0; 0.2/0.04; 0.4/0.04; 0.6/0.04; 0.8/0.04; 1/0.04\};$$

$$T'_{2<низький>} = \{0/0.61; 0.2/0.87; 0.4/0.61; 0.6/0.14; 0.8/0.01; 1/0\};$$

$$T'_{2<середній>} = \{0/0.04; 0.2/0.13; 0.4/0.13; 0.6/0.13; 0.8/0.13; 1/0.04\};$$

$$T'_{2<високий>} = \{0/0; 0.2/0.01; 0.4/0.01; 0.6/0.01; 0.8/0.01; 1/0.01\};$$

Обчислення ступеня відповідності правилам таблиці:

$$\alpha_1 = \min[\max(T'_i \wedge T_i)] = \min(\max(0.61^1 \wedge 1, 0.61^1 \wedge 0.61, 0.14^1 \wedge 0.14, 0.01^1 \wedge 0, 0^1 \wedge 0), \max(0.61^1 \wedge 0.61, 0.87^1 \wedge 1, 0.61^1 \wedge 0.61, 0.14^1 \wedge 0.14, 0.01^1 \wedge 0, 0^1 \wedge 0)) = \min(1, 0.87) = 0.87;$$

$$\alpha_2 = \min[\max(T'_i \wedge T_i)] = \min(\max(0.04^1 \wedge 0.04, 0.32^1 \wedge 0.32, 0.32^1 \wedge 0.88, 0.32^1 \wedge 0.88, 0.32^1 \wedge 0.32, 0.32^1 \wedge 0.04), \max(0.04^1 \wedge 0.04, 0.13^1 \wedge 0.32, 0.13^1 \wedge 0.88, 0.13^1 \wedge 0.88, 0.13^1 \wedge 0.32, 0.13^1 \wedge 0.04)) = \min(0.32, 0.13) = 0.13;$$

$$\alpha_3 = \min[\max(T'_i \wedge T_i)] = \min(\max(0^1 \wedge 0.04, 0.04^1 \wedge 0.32, 0.04^1 \wedge 0.88, 0.04^1 \wedge 0.88, 0.04^1 \wedge 0.32), \max(0^1 \wedge 0.01, 0.04^1 \wedge 0.32, 0.01^1 \wedge 0.32, 0.01^1 \wedge 0.88, 0.01^1 \wedge 0.88, 0.01^1 \wedge 0.32)) = \min(0.04, 0.01) = 0.01;$$

$$\alpha_4 = \min[\max(T'_i \wedge T_i)] = \min(\max(0^1 \wedge 0.04, 0.04^1 \wedge 0.32, 0.04^1 \wedge 0.88, 0.04^1 \wedge 0.88, 0.04^1 \wedge 0.32), \max(1^1 \wedge 0.99, 0.99^1 \wedge 0.68, 0.99^1 \wedge 0.12, 0.99^1 \wedge 0.12, 0.99^1 \wedge 0.68)) = \min(0.04, 1) = 0.04;$$

Обчислення виходів правил:

$$B'_1 = \{0 / \min(0, 0.87), 0.2 / \min(0.2, 0.87), 0.4 / \min(0.3, 0.87), 0.6 / \min(0.5, 0.87), 0.8 / \min(0.8, 0.87), 1 / \min(1, 0.87)\} = \{0 / 0, 0.2 / 0.2, 0.4 / 0.3, 0.6 / 0.5, 0.8 / 0.8, 1 / 0\};$$

$$B'_2 = \{0 / \min(0, 0.13), 0.2 / \min(0.2, 0.13), 0.4 / \min(0.3, 0.13), 0.6 / \min(0.5, 0.13), 0.8 / \min(0.8, 0.13), 1 / \min(1, 0.13)\} = \{0 / 0, 0.2 / 0.2, 0.4 / 0.13, 0.6 / 0.13, 0.8 / 0.13, 1 / 0\};$$

$$B'_3 = \{0 / \min(0, 0.01), 0.2 / \min(0.2, 0.01), 0.4 / \min(0.3, 0.01), 0.6 / \min(0.5, 0.01), 0.8 / \min(0.8, 0.01), 1 / \min(1, 0.01)\} = \{0 / 0, 0.2 / 0, 0.4 / 0, 0.6 / 0.01, 0.8 / 0.01, 1 / 0\};$$

$$B'_4 = \{0 / \min(0, 0.04), 0.2 / \min(0.2, 0.04), 0.4 / \min(0.3, 0.04), 0.6 / \min(0.5, 0.04), 0.8 / \min(0.8, 0.04), 1 / \min(1, 0.04)\} = \{0 / 0, 0.2 / 0, 0.4 / 0.04, 0.6 / 0.04, 0.8 / 0.04, 1 / 0\};$$

Агрегування виходів:

$$B' = B'_1 \vee B'_2 \vee B'_3 \vee B'_4 = \{0 / 0, 0.2 / 0.2, 0.4 / 0.3, 0.6 / 0.5, 0.8 / 0.8, 1 / 0\};$$

Нечіткий висновок: «довжина інтервалу керованості»

мережі за рахунок власних ресурсів на ділянці В-1 - «довга».

Аналогічно, півторюючи кроки 1-3 алгоритму нечіткого логічного виведення для кожної ділянки, отримуємо нечіткі висновки щодо «довжини області керованості», ділянка №:

1-2: - «довга»; 1-3: - «середня»; 2-4: - «вузька»; 3-4: «середня»; 3-5: «вузька»; 5-6: «середня»; 4-6: «вузька»; 4-7: «середня».

Перевірка виконання технічної умови повної керованості мережі (3-4), ділянка №:

$$\begin{aligned} & \text{В-1: } 0.02 \leq 0.08 \leq 0.8 \quad \text{1-2: } 0.02 \leq 0.12 \leq 0.8; \quad \text{1-3: } \\ & 0.35 \leq 0.55 \leq 0.6; \quad \text{2-4: } 0.5 \leq 0.54 \leq 0.65; \quad \text{3-4: } \\ & 0.35 \leq 0.48 \leq 0.6; \quad \text{3-5: } 0.5 \leq 0.6 \leq 0.65; \quad \text{5-6:} \end{aligned}$$

$0.35 \leq 0.44 \leq 0.6$ ; 4-6:  $0.5 \leq 0.57 \leq 0.65$ ; 4-7:  $0.35 \leq 0.38 \leq 0.6$ .

Оскільки для кожної ділянки мережі (рисунок) виконуються умови повної керованості (3-4) тоді робимо загальний висновок, що мережею можна буде управляти за рахунок власних ресурсів на  $T + t_i$ -му часовому етапі її планового розвитку.

### Висновки

Проведено аналіз проблем застосування ймовірнісного підходу для розв'язку задачі визначення границь повної керованості мережі на  $T + t_i$ -му часовому етапі її функціонування за рахунок власних ресурсів визначених на  $T$ -му часовому етапі її планового розвитку.

Запропоновано метод нечіткого логічного виведення «довжини інтервалу керованості».

Наведено приклад нечіткого логічного виведення «довжини інтервалу керованості», на основі якого зроблено висновок щодо можливостей повної керованості мережею на  $T + t_i$ -му часовому етапі її планового розвитку.

### Список літератури

1. Форкун Ю.В., Михайленко В.М. Андрущак О.В., *Оптимальное планирование на многомерных сетях в условиях неопределенности. Тезиси доповідей другої*

*науково-практичної конференції "Ком'ютерні технології в учбово-методичній, науковій та зовнішньоекономічній діяльності вищих навчальних закладів в Україні". - К.: УФІМБ.-1996.-19 с.*

2. Леви Л.И. *Формализм нечетких множеств в моделировании автоматизации процессов оперативного управления инженерными сетевыми системами// Сб. научн. Тр. ЛСХИ. Ч. 3.-Луганск: Изд-во ЛСХИ, 1997.-С.39-40.*

3. Соловей О.Л. *Спиральная модель управления довгостроковым развитием системы водопостачання міста. 8 міжнародна конференція «Управління проектами у розвитку суспільства». - Київ, 19-20 травня.*

4. Красовский А.А, Поспелов Г.С. *Основы автоматизации и технической кибернетики.-М.: Государственное энергетическое издательство, 1962.-597 с.*

5. Кулик Ю.В. *Проектирование систем газоснабжения с учетом качества их функционирования // Наука и техника в городском хозяйстве. - 1990. -№73.- С. 205-217.*

6. Борисов А.Н. *Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. - Рига: Зинатне.- 1982. -256с.*

*Стаття надійшла до редколегії 15.04.2012*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Михайленко, Національний університет будівництва і архітектури, Київ.