УДК 621.377.39 + 621.391.61

Г. С. Ратушняк, к.т.н., проф.; С. Й. Шаманський

САПР ВИБОРУ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ВОДОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Вступ

Проектування та будівництво індивідуального житлового будинку (ІЖБ) за вимогами сьогодення важко уявити без однієї з найважливіших ланок його інженерного забезпечення – системи водопостачання та водовідведенння. Вона, за вимогами "Правил користування системами комунального водопостачання та водовідведення в містах і селищах України", затверджених наказом Держжитлокомунгоспу від 1 липня 1994 року № 65, має бути обов'язково оснащена засобом обліку водоспоживання (ЗОВ). Наявність таких засобів дає змогу реально враховувати об'єми водоспоживання ІЖБ та робить вагомий внесок у вирішення актуальної на сьогодні задачі – збереження ресурсів в житловому фонді. Про це і наголошується в Постановах КМУ від 27 листопада 1995 року № 947 "Про Програму поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії на 1996-2000 роки" та від 19 жовтня 1998 року № 1657 "Про продовження терміну виконання Програми поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії до 2002 року."

При проектуванні ІЖБ постає питання про вибір оптимального ЗОВ. Сьогодні рекомендується вибирати лише діаметр умовного проходу ЗОВ (d_y), виходячи з середньої витрати води за певний проміжок часу [1]. Такі задачі вирішуються переважно інтуїтивним шляхом. Проте швидкий розвиток водомірної техніки, що зараз спостерігається, привів до створення широкого різноманіття ЗОВ різних принципових конструкцій. Їх застосування в недалекому майбутньому поширяться і на ІЖБ. Тоді задача проектувальника по вибору оптимального ЗОВ суттєво ускладниться. САПР виконання цих робіт на даний час відсутня.

В цій роботі пропонується математична модель такої САПР для підтримки прийняття рішень при проектуванні ІЖБ.

Математична модель САПР

Реалізація САПР вибору оптимального ЗОВ для ІЖБ пропонується на основі створеної єдиної системи критеріїв їх оцінювання, а також проведення самого оцінювання альтернативних варіантів ЗОВ

за цими критеріями. В якості розв'язку задачі вибору приймається той варіант ЗОВ, що отримав найвищу оцінку.

В роботі [2] за результатами аналізу техніко-економічних та ергономічних характеристик ЗОВ при їх використанні для обліку води в системах водопостачання пропонується розбиття всіх критеріїв оцінювання на чотири групи з утворенням таких групових критеріїв: метричних (кількісних) – корисність (КР) і плата за корисність (ПКР); неметричних (якісних) – стійкість до збурень (СЗБ) і зручність контролю водного потоку (ЗКВП). Після їх кількісного розрахунку можна утворити єдиний інтегральний критерій, який і має дати розв'язок задачі оцінювання.

Неметричними критеріями пропонується оцінювати ЗОВ різних принципових конструкцій. Проте на сьогоднішній день для обліку води в ГЖБ використовуються лише крильчасті ЗОВ малих діаметрів, які можна віднести до одного типу як за критерієм СЗБ, так і за критерієм ЗКВП. Тому доцільним є проводити їх оцінку за двома груповими критеріями КР та ПКР.

Для їх розрахунку доцільно скористатися методами дедуктивної логіки (від групового критерію до частинних) [3, 4], сформулювавши попередньо самі поняття КР та ПКР. Покажемо це.

КР – технічний груповий критерій, який показує ступінь відповідності показників ЗОВ дійсній кількості виміряної ним води, виражену в долях одиниці:

$$\Psi = 1 - \frac{1}{100} \cdot \left| \sum_{i=1}^{24} \sigma_i^{\partial} \right| , \qquad (1)$$

де ψ - корисність ЗОВ; σ_{∂}^{i} - похибка вимірювання для і-тої години в процентах від добової витрати (%).

Дедуктивний аналіз свідчить [3], що частинними критеріями групового критерію КР є: Q_{min} – мінімальна витрата води з робочого діапазону ЗОВ ($м^3$/год.); Q_t – перехідна витрата з робочого діапазону ЗОВ ($м^3$/год.); Q_n – номінальна витрата з робочого діапазону ЗОВ ($м^3$/год.); Q_{max} – максимальна витрата з робочого діапа-

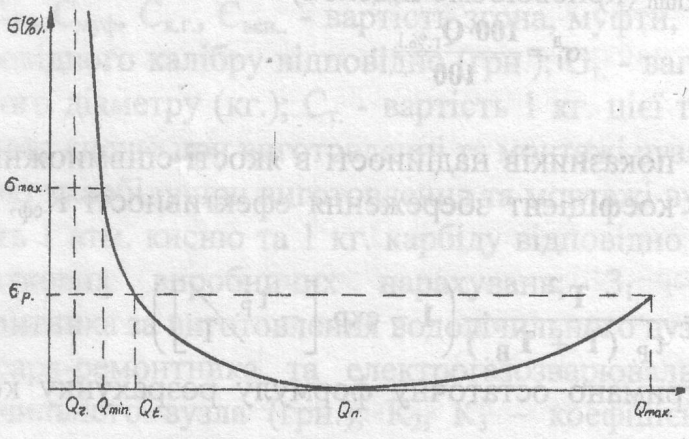

Рис. 1 Залежність похибки вимірювання від витрати

зону ЗОВ ($м^3$/год.); $\sigma_р$ – номінальна нормована похибка вимірювання ЗОВ (%); σ_{max} – максимальна нормована похибка вимірювання ЗОВ (в перехідному діапазоні) (%); $К_г$ – коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання; $К_н$ – коефіцієнт неспівпадання витрат, який показує у скільки разів номінальна витрата з робочого діапазону ЗОВ перевищує середню витрату води в трубопроводі; Т – середнє напрацювання ЗОВ на відмову (год.); $Т_В$ – середній час відновлення ЗОВ (год.); $t_р$ – встановлене безвідмовне напрацювання ЗОВ (год.). Зв'язок між ними знаходиться так. Прийнявши до розгляду криву залежності похибки від витрати, зображену на рис. 1, отримуємо такі аналітичні залежності на різних діапазонах витрат:

- від $Q_п$ до Q_{max} (присвоюємо індекс і)

$$\sigma_i^д = \frac{\left(\frac{Q_{г.\%.i.} \cdot Q_п}{K_Р \cdot K_н} - Q_п\right)^2 \cdot \sigma_Р \cdot Q_{г.\%.i}}{100 \cdot (Q_{max} - Q_п)^2}; \quad (2)$$

де $Q_{г.\%.i}$ – годинна витрата води для і-тої години в процентах від добової витрати в залежності від коефіцієнта годинної нерівномірності водоспоживання (%);

- від Q_t до $Q_п$ (присвоюємо індекс j)

$$\sigma_j^д = \frac{\left(\frac{Q_{г.\%.j} \cdot Q_п}{K_Р \cdot K_н} - Q_п\right)^2 \cdot \sigma_Р \cdot Q_{г.\%.j}}{100 \cdot (Q_t - Q_п)^2}; \quad (3)$$

- від Q_{min} до Q_t (присвоюємо індекс k)

$$\sigma_k^д = \frac{\left(\frac{Q_{г.\%.k.} \cdot Q_п}{K_Р \cdot K_н} - Q_t\right) \cdot (\sigma_{max} - \sigma_Р) \cdot Q_{г.\%.k}}{100 \cdot (Q_{min} - Q_t)} + \frac{\sigma_Р \cdot Q_{г.\%.k.}}{100}; \quad (4)$$

- від нуля до Q_{min} (присвоюємо індекс l)

$$\sigma_l^д = \frac{100 \cdot Q_{г.\%.l.}}{100}. \quad (5)$$

Для врахування показників надійності в якості співмножника в формулу (1) введемо коефіцієнт збереження ефективності $К_{еф}$, який виражено формулою

$$K_{еф.} = \frac{T^2}{t_{Р.}(T + T_{В.})}\left(1 - \exp\left[-\frac{t_{Р.}}{T}\right]\right) \quad (6)$$

В результаті отримано остаточну формулу розрахунку корисності ЗОВ

$$\Psi = 1 - \frac{1}{100}\left(\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^{д} + \sum_{j=1}^{m} \sigma_j^{д} + \sum_{k=1}^{P} \sigma_k^{д} + \sum_{l=1}^{r} \sigma_l^{д} \right) \quad (7)$$

ПКР – економічний груповий критерій, який включає всі види грошових витрат на забезпечення процесу вимірювання кількості води, що подається в ІЖБ, приведені до безрозмірної форми:

$$C = \frac{1}{Ц_{Б.}} \cdot C_{\Sigma}, \quad (8)$$

де С – плата за корисність ЗОВ; $Ц_Б$ – середня вартість базових лічильників (можна прийняти найбільш розповсюджені сьогодні в Україні крильчасті лічильники марки ВСКМ) (грн.); C_Σ - сумарні затрати (грн.).

Дедуктивний аналіз свідчить [4], що частинними критеріями ПКР є: $Ц_{ЗОВ}$ – ціна на ЗОВ, що розглядається (грн.); $t_п$ – термін повірки ЗОВ (років); T_1 – гарантійний строк служби ЗОВ (міс.); T_2 – гарантія безвідмовної роботи ЗОВ виробником (міс.); T_3 – гарантія безвідмовної роботи, котру дає ремонтна майстерня, після ремонту типу ЗОВ, що розглядаються (міс.); D_y – діаметр умовного проходу (калібр) ЗОВ; $V_{пов.}$ – об`єм води, необхідний для повірки ЗОВ ($м^3$); $C_д$ – вартість додаткових пристроїв, необхідних для функціонування ЗОВ (грн.).

Знаходження зв'язку між ними зводиться до пошуку сумарних затрат C_Σ, які виражаються формулою

$$C_{\Sigma} = C_{ЗОВ} + C_{В} + C_{Е}, \quad (9)$$

де $C_{ЗОВ}$ – вартість ЗОВ, що розглядається (грн.); $C_В$ – затрати на встановлення ЗОВ (грн.); $C_Е$ – затрати на експлуатацію ЗОВ (грн.).

Затрати на встановлення можна знайти так:

$$C_{В} = \left[6 \cdot C_{зг} + 8 \cdot (C_{муф} + C_{кг}) + 3 \cdot C_{вен} + 3 \cdot G_{т} \cdot C_{т} + C_{к} \cdot (P_{к.в.} + P_{к.м.}) + \right.$$
$$\left. + C_{кар.} \cdot (G_{кар.в.} + G_{кар.м.}) + K_1(З_1 + З_2)\right] \cdot K_2 \cdot K_3 + C_{д.}(грн), \quad (10)$$

де $C_{зг.}$, $C_{муф}$, $C_{к.г.}$, $C_{вен.}$ - вартість згона, муфти, контргайки та вентиля відповідного калібру відповідно (грн.); $G_{т.}$ - вага 1 метра труби відповідного діаметру (кг.); $C_{т.}$ - вартість 1 кг. цієї труби (грн.); $P_{к.в.}$, $P_{к.м.}$ - витрата кисню при виготовленні та монтажі вузла (атм.); $G_{кар.в.}$, $G_{кар.м.}$ - витрата карбіду при виготовлення та монтажі вузла (кг.); $C_{к.}$, $C_{кар.}$ - вартість 1 атм. кисню та 1 кг. карбіду відповідно (грн.); K_1 – коефіцієнт додаткових виробничих нарахувань; $З_1$ – зарплата слюсаря-ремонтника за виготовлення водолічильного вузла (грн.); $З_2$ – зарплата слюсаря-ремонтника та електрогазозварювальника за монтаж водолічильного вузла (грн.); K_2, K_3 – коефіцієнти рентабельності та ПДВ; $C_{д.}$ - вартість додаткових пристроїв (грн.).

Затрати на експлуатацію можна знайти так:

$$C_{\text{Е.}} = \left[\left(З_3 + \frac{1}{t_{\text{п.}}} \cdot (З_4 + З_5) + N_{\text{р.}} \cdot З_4\right) \cdot K_1 + \frac{1}{t_{\text{п.}}} \cdot \left((C_{\text{вод.}} + C_{\text{ст.}}) \cdot V_{\text{пов.}} + Ц_{\text{пов.}}\right)\right] \cdot \quad (11)$$

$$\cdot K_2 \cdot K_3 + N_{\text{р.}} \cdot K_{\text{р.}} \cdot Ц_{\text{ЗОВ.}} (\text{грн.}).$$

де $З_3$ – зарплата фахівця відділу збуту водопостачального підприємства за контроль за показниками (грн.); $З_4$ – зарплата слюсаря-ремонтника за демонтаж та встановлення ЗОВ після повірки (грн.); $З_5$ – зарплата слюсаря, що виконує повірку ЗОВ (грн.); $N_р$ – середня кількість ремонтів ЗОВ на рік (шт.); $С_{вод.}$, $С_{ст.}$ – вартість 1 $м^3$ води та стоків відповідно (грн.); $Ц_{ЗОВ}$ – вартість виконання повірки представником держстандарту (грн.); $К_р$ – коефіцієнт затрат на ремонт як відношення середньої вартості ремонту базових ЗОВ до середньої вартості цих приладів.

Після розрахунку групових критеріїв КР та ПКР можна утворити єдиний інтегральний критерій методом нечітких парних порівнянь за відносними оцінками рівнів. При цьому можна скористатись ваговими коефіцієнтами ω для цих критеріїв, які запропоновані в роботі [5] і мають такі значення: КР - $\omega_1 = 0.077$; ПКР - $\omega_2 = 0.0714$ і використовуються в якості показників степені у формулі перетину нечітких множин.

Таким чином, реалізацію САПР вибору ЗОВ для ІЖБ можна запропонувати за таким алгоритмом:

1. Задатись середньою годинною витратою води в ІЖБ, водоспоживання котрого контролюється ЗОВ $Q_{г.сер.}$, а також розрахувати коефіцієнт неспівпадання витрат.

2. Задатись максимальною годинною витратою води в ІЖБ $Q_{г.max.}$ та розрахувати коефіцієнт годинної нерівномірності за формулою

$$\mathbf{K_г = \frac{Q_{г.max}}{Q_{г.сер.}}}.$$

3. Маючи $К_г$, знайти витрату води в трубопроводі Q_i для кожної з 24-х годин доби.

4. Задатись кількісним значенням частинних критеріїв КР: Q_{min}, Q_t, Q_n, Q_{max}, σ_p, σ_{max}, T, $T_В$, $t_р$. Тобто технічними та метрологічними характеристиками першого варіанту ЗОВ.

5. Провести порівняння годинних витрат води Q_i кожної з 24-х годин з перехідними точками діапазону вимірюваних витрат ЗОВ, що розглядається. А саме Q_{min}, Q_t, Q_n, Q_{max}.

6. В залежності від того, між якими перехідними точками буде знаходитись витрата і-тої години, присвоїти її індекс i, j, k, l.

7. Скориставшись формулами (2, 3, 4, 5), обчислити похибки вимірювання ЗОВ в кожну з 24-х годин доби.

8. За формулою (6) обчислити коефіцієнт збереження ефективності $К_{еф}$.

9. Всі отримані результати підставити у формулу (7), провести обчислення та отримати значення КР ЗОВ, що розглядається.

10. Задатись кількісним значенням частинних критеріїв ПКР: $Ц_{ЗОВ}$, $t_п$, $Т_1$, $Т_2$, $Т_3$, $D_у$, $V_{пов.}$, $С_д$.

11. Розрахувати зарплату слюсаря-ремонтника $З_1$ за складання водолічильного вузла.

12. Розрахувати зарплату слюсаря-ремонтника та електрогазозварювальника $З_2$, що виконують монтаж водолічильного вузла.

13. Визначити затрати на матеріали для виготовлення та монтажу вузла.

14. Розрахувати затрати на встановлення ЗОВ за формулою (10).

15. Визначити зарплату фахівця З3, що веде контроль за показниками ЗОВ.

16. Визначити зарплату слюсаря-ремонтника $З_4$ за зняття та встановлення ЗОВ на трубопроводі.

17. Визначити зарплату слюсаря $З_5$ за повірку ЗОВ.

18. Визначити середню кількість ремонтів на рік $N_р$ ЗОВ.

19. Знайти коефіцієнт додаткових виробничих нарахувань $К_1$.

20. Знайти коефіцієнт затрат на ремонт $К_р$.

21. Розрахувати затрати на експлуатацію ЗОВ за формулою (11).

22. Підставити результати розрахунків у формулу (9), провести обчислення та отримати значення ПКР ЗОВ, що розглядається.

23. Повторити кроки 4-22 для кожного наступного варіанту ЗОВ.

24. Сформувати матрицю НПП за груповим критерієм КР, елементи якої визначити як попарні відношення абсолютних величин цього критерію для варіантів, що порівнюються.

25. Розрахувати ступені належності кожного варіанта ЗОВ до нечіткого терму оцінки за цим критерієм.

26. Представити груповий критерій КР у вигляді нечіткої множини, заданої на універсальній множині варіантів ЗОВ.

27. Повторити кроки 24-26 для групового критерію ПКР.

28. Провести операцію перетину нечітких множин й сформувати інтегральну нечітку множину, котра є розв`язком задачі оцінювання ЗОВ.

29. Оптимальним варіантом ЗОВ для ІЖБ вважати варіант, що отримав найвищу оцінку.

ВИСНОВКИ

Запропонована математична модель та алгоритм САПР дозволяє створити автоматизовану систему підтримки прийняття рішень по вибору оптимального ЗОВ при проектуванні ІЖБ в умовах сьогодення. При застосуванні в ІЖБ лічильників інших конструкцій в алгоритм можна ввести оцінку і за неметричними критеріями. Така модель дозволяє автоматизувати найбільш трудомісткі операції інтелектуальної діяльності при проектуванні систем водопостачання ІЖБ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий. Госстрой СССР. М.: Стройиздат. – 1985.

2. Ратушняк Г. С., Шаманський С. Й. Критеріальний метод оцінювання засобів обліку в системах водопостачання. – Вінниця.: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2003. – 180 с.

3. Лісіцин Є. Ф., Ткаченко В. В., Шаманський С. Й. Методика розрахунку корисності лічильників води. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. с. 141-146.

4. Шаманський С. Й. Методика розрахунку плати за корисність лічильників води. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 1. с. 144-148.

5. Ратушняк Г. С., Шаманський С. Й. Метод оцінювання засобів обліку в САПР управління водоспоживанням. // Вісник ВПІ. – 2003. – № 3. – с. 14-18.

Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання.

Надійшла до редакції 01.10.03 р.
Рекомендована до опублікування 01.03.04 р.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., проф., завідувач кафедри,
Шаманський Сергій Йосипович – інженер.
Вінницький національний технічний університет.