

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ПРИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОМУ УПРАВЛІННІ СИСТЕМАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Київський національний університет будівництва та архітектури

Для мінімізації витрат при диспетчерському управлінні системами водопостачання пропонується використання інформаційно-графічної моделі елементів мережі, об'єктно-орієнтований підхід у її застосуванні та проведення гідравлічних розрахунків в оперативному режимі.

Вступ

В даний час накопичено значний досвід по моделюванню, ідентифікації та оперативному управлінню системами водопостачання міста (СВМ) [1-6]. Під ефективним управлінням режимами функціонування СВМ розуміється підвищення якості та надійності водопостачання споживачів при зниженні затрат на транспортування і розподіл води. Вирішення цієї проблеми управління СВМ досі залишається вельми актуальною.

Бурхливий розвиток обчислювальної, вимірювальної техніки та засобів комунікації дозволяє відмовитись від існуючої практики «інтуїтивного» (на основі досвіду працівників диспетчерських пунктів) управління режимами функціонування СВМ. Ефективність використання обчислювальної техніки залежить від ступені формалізації та алгоритмізації інтелектуальних процесів прийняття рішення при автоматизації різних технологічних процесів, що виникають при управлінні СВМ.

Розглянемо можливі режими функціонування СВМ [2]:

1) повної працездатності (штатний режим) – система виконує функції забезпечення споживачів водою на заданому нормальному розрахунковому рівні, тобто всі значення параметрів режиму знаходяться в межах, допустимих для довготривалої роботи, як по критеріям працездатності окремих елементів СВМ, так і по критеріям надійності режиму, причому дотримуються вимоги щодо оптимальності (мінімум затрат на електроенергію, мінімум витрат тисків та ін.);

2) неповної працездатності (вимушений) – система може забезпечувати споживачів водою на рівні, зниженому порівняно з нормальним розрахунковим, але не нижче встановленої нормами допустимої межі;

3) непрацездатності (аварійний) – система не може виконувати функції забезпечення споживачів на нормальному розрахунковому або допустимому зниженому рівні, тобто один або декілька параметрів досягли значень, недопустимих навіть на короткий термін часу.

Виходячи з цього, процес управління СВМ має бути організований таким чином, щоб якомога повніше задовольняти вимоги споживачів щодо забезпечення їх необхідною кількістю води із заданими рівнями тиску в кожний момент часу, не допускаючи зниження нижче й підвищення вище відповідно мінімально і максимально допустимих значень.

В залежності від стану, в якому знаходиться СВМ, диспетчер має отримувати інформацію, яка необхідна по-перше, для попередження виникнення або розвитку аварійних ситуацій, по-друге, для оптимізації цього стану. При функціонуванні СВМ в нормальному режимі необхідно забезпечити оптимізацію режиму – переведення системи в нормальний оптимальний режим. При функціонуванні СВМ у вимушеному режимі необхідно не допустити її перехід в аварійний стан, і тому вирішальне значення будуть мати критерії стійкості та надійності діючого режиму. У випадку аварійного режиму повинна бути забезпечена максимально швидка локалізація місця аварії, з метою попе-

редження розвитку аварії та її поширення на сусідні ділянки СВМ.

Постановка задачі

Таким чином, метою статті є розробка адекватних інформаційно-графічних моделей з орієнтацією на об'єкт і найбільш оптимальних методів оперативного управління режимами функціонування системи водопостачання, використання яких дозволить зменшити фактичні втрати тиску в СВМ та підвищити ефективність її функціонування у реальному вимірі часу.

Формалізація поставленої задачі

Процес оперативного управління СВМ є автоматизованим, тобто є необхідною наявністю особи, що приймає рішення (ОПР), при управлінні системою. Задача ОПР полягає в оцінці стану середовища та об'єкта управління, формулюванні мети управління, якщо ці стани її не задовольняють, та прийнятті рішення про управляючий вплив.

Здійснення оперативного управління штатним режимом роботи в автоматизованій системі диспетчерського управління (АСДУ) повинно бути реалізоване за схемою (рис.1). Вектор вхідних даних можна представити у вигляді двійки векторів $X = \langle q_{вх}, P_{вх} \rangle$ - вектор витрат води і вектора тиску, під яким цей продукт надходить до мережі. Розмірність векторів залежить від кількості джерел СВМ. Аналогічно вектор вихідних змінних $Y = \langle q_{вих}, P_{вих} \rangle$ - компоненти векторів відповідають величинам витрат та тиску води, під яким вона потрапляє до споживачів. Вектор $Z = \langle q_{тр}, P_{тр} \rangle$ характеризує вимоги споживачів, тобто потрібних надходжень води під мінімально допустимим тиском на вході до них. При чому повинна виконуватись нерівність

$$q_i^{\min} \leq q_i \leq q_i^{\max}, \quad (1)$$

q_i^{\min} - технологічна бронь і-го споживача на кількість споживаємої води; q_i^{\max} - необхідні поставки води і-тому споживачу в години максимального водоспоживання.

Оператор або особа, що приймає рішення (ОПР), спостерігає за системою диктуючих точок, а саме, за п'езометричним графіком, який показує рівень тиску в цій точці P_i та P_{\max} , P_{\min} - максимально і мінімально допустимі рівні тиску в цій точці. Завдяки цьому графіку ОПР визначає стан мережі. Якщо

$$P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max}, \quad (2)$$

то система знаходиться в штатному режимі, тобто всі значення параметрів режиму знаходяться в межах, допустимих для довготривалої роботи, або вимушений режим - коли споживачі забезпечуються водою на рівні, зниженому порівняно з нормальним розрахунковим, але не нижче встановленої норми. В першому випадку ОПР не здійснює ні якого управляючого впливу, в другому випадку - ОПР повинна сформувати управляючий вплив з метою переведення мережі в штатний режим, або не допустити його переведення в аварійний. Управління СВМ здійснюється шляхом зміни параметрів її окремих елементів. В результаті вимушеного режиму необхідно змінити тиск таким чином, щоб забезпечити переведення системи в штатний режим. Для цього пропонується змінити параметри керованих підсистем (наприклад, для насосних станцій змінити режим їх роботи), далі проводиться гідравлічний розрахунок мережі за новими параметрами з урахуванням критеріїв оптимальності K_i (мінімум затрат на електроенергію, мінімум втрат тисків, тощо), і на насосну станцію ОПР передає управлінські команди.



Рис.1. Схема процесу диспетчерського управління в штатному режимі

Здійснення оперативного управління аварійним режимом роботи в АСДУ повинно бути реалізоване за схемою (рис.2). Якщо ОПР спостерігає на п'єзометричному графіку різке падіння тиску, це означає, що відбулась аварійна ситуація. В цьому випадку першим кроком при управлінні необхідно якнайточніше визначити місце аварії. Далі, автоматичне визначення множини засувок, повне перекриття яких приведе до повного відключення аварійної ділянки. Ця множина формується з використанням даних, отриманих в процесі попередньо розробленого алгоритму побудови максимально локалізованого підграфа мережі, який дозволяє для будь-якого елемента мережі однозначно визначити зазначену множину. Причому можна сформулювати наступні можливі критерії, які впливають на розв'язання поставленої задачі: K_1 - кількість відключених споживачів, K_2 - сумарне недоотримання води, K_3 - витрати на проведення ремонтних робіт, K_4 - час на проведення ремонтних робіт. Після відключення аварійної ділянки виконується попередній гідравлічний розрахунок мережі, формуються і передаються управлінські команди. Як тільки локалізовано

аварію, ОПР переводить СВМ в штатний режим.

У розглянутих вище процесах управління важливу роль відіграє гідравлічний розрахунок мережі. Саме від його точності та оперативності виконання залежить ефективність управління системою.

На сьогодні в оперативному режимі гідравлічні розрахунки не проводяться, а всі управлінські команди формуються на підставі досвіду ОПР, які не завжди являються найоптимальнішими, а розглянуті вище підходи дозволяють мінімізувати суб'єктивний підхід щодо управління поточкорозподілом і більш ефективно та оперативно здійснювати управління СВМ [6].

Основу всіх алгоритмів управління складає модель об'єкта управління, на якій можна зімітувати наслідки пропонованого управління та обрати найкращий. На сьогоднішній день велику роль відіграє інформаційно-графічне моделювання мережі, з використанням об'єктно-орієнтованого програмування. Вимоги, що висуваються до моделі, визначаються цілями управління та відображають ті основні формальні зв'язки, які існують на вході та виході об'єкта управління.



Рис.2. Схема процесу диспетчерського управління в аварійному режимі

Формально кожен елемент мережі водопостачання можна представити у вигляді множини – об’єкту інформаційно-графічної моделі (ІГМ) [1]:

$$\Theta = \{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \mu\}, \quad (2)$$

де α – множина технічних властивостей об’єкта; β – множина гідравлічних характеристик; γ – множина граничних умов, що відповідають за контроль об’єктів мережі; δ – множина фактичних з’єднань; μ – множина подій, що повідомляють про стан об’єкта.

Розглянемо інформаційно-графічну модель одного з основних елементів водопровідної мережі – об’єкт «труба».

Множина *технічних властивостей* об’єкта «труба»:

$$\alpha = \{m, d, l, w\}, \quad (3)$$

де m – матеріал труби, d – внутрішній діаметр труби, l – довжина трубопроводу, w – тип з’єднання (можливі кінцівки елемента).

Множина *гідравлічних характеристик*:

$$\beta = \{h, q, \lambda, k\}, \quad (4)$$

де h – лінійні втрати опору ділянки за (6) або (8), q – витрати води (5), λ – гідрав-

лічний опір (7), k – коефіцієнт шорсткості, що обчислюється за формулою (9) або береться з таблиць.

Витрата води в системі водопостачання пов’язана з відповідним перетином труби при заданій швидкості руху води V :

$$q = \frac{\pi \cdot d}{4} v, \quad (5)$$

де d – внутрішній діаметр труби.

Основною формулою інженерної гідравліки, що зв’язує всі зазначені характеристики, є формула Дарсі-Вейсбаха:

$$h = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (6)$$

де h – лінійні втрати напору, λ – коефіцієнт гідравлічного опору, l і d – довжина і діаметр труби, v – швидкість руху води, g – прискорення вільного падіння.

З точки зору моделювання елементів мережі водопостачання, найбільш суттєвим параметром є λ – коефіцієнт гідравлічного опору. Загальною формулою для його визначення формула А.Д. Альтшуля [4]:

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0.25}, \quad (7)$$

де Re безрозмірне число Рейнольдса, k - коефіцієнт еквівалентної шорсткості.

За умови (5)-(6) та $\text{Re} = \infty$ втрати напору для лінійної ділянки трубопроводу будуть:

$$h = 0.11 \cdot k^{0.25} \cdot \left(\frac{16 \cdot l \cdot q^2}{2 \cdot g \cdot \pi^2 \cdot d^{5.25}} \right). \quad (8)$$

Таким чином, множина β складається з функціонально залежних параметрів.

Пропускна здатність трубопроводів у період експлуатації знижується, внаслідок корозії й утворення відкладень на трубах. При цьому відбувається зміна шорсткості трубопроводу і його заростання (зменшення поперечного перетину). Збільшення шорсткості і заростання приводить до зменшення діаметра трубопроводу і як наслідок до збільшення втрат напору. Складність фізичних, хімічних і біологічних явищ, що визначають зміну шорсткості труб і їхнє заростання, приводить до необхідності орієнтуватися на деякі середні показники, що у першому наближенні можна оцінити по формулі:

$$k_t = k + \delta \cdot t, \quad (9)$$

де k - коефіцієнт еквівалентної шорсткості для нових труб на початку експлуатації, k_t - коефіцієнт еквівалентної шорсткості через t років експлуатації, δ - щорічний приріст абсолютної шорсткості, мм у рік, який залежить від фізико-хімічних властивостей води.

Множина *граничних умов* γ визначається при проектуванні СВМ згідно із технічними характеристиками. Вона представляє собою набір максимально можливих та мінімально можливих величин тисків і витрат води для кожного елемента СВМ.

Множина *фактичних з'єднань* δ для деякого лінійного елемента e_i визначається множиною бінарних співвідношень:

$$\delta = \{(e_x, e_i), (e_i, e_y)\}, \quad \text{при } i \neq x, i \neq y, \quad (10)$$

де e_x - умовно початковий, а e_y - умовно кінцевий елементи для e_i .

Множина *подій* $\mu = \emptyset$, оскільки над об'єктом «труба» не можна здійснити управляючий вплив, як, наприклад, над об'єктом «засувка» або «насосна станція».

Аналогічно будуються ІГМ інших елементів СВМ (наприклад, засувок, хрестовин, трійників, насосних станцій, тощо).

Далі конструюються певні з'єднання з цих елементів, які за принципами об'єктно-орієнтованого програмування успадковують властивості окремо розглянутих елементів, що дозволяє швидко виконати гідравлічний розрахунок для утвореного з'єднання, а потім і для всієї системи [2, 3].

Для прикладу візьмемо декілька труб різної довжини, різного діаметру та такі, що мають різні місцеві опори. З'єднаємо їх *послідовно* (рис.3).

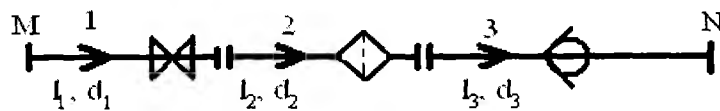


Рис.2.5. Послідовне з'єднання трубопроводу.

При подачі води по такому складеному трубопроводу від точки М до точки N витрати води Q в усіх послідовно

з'єднаних трубах 1, 2, 3 буде однаковим, а втрати напорів між точками будуть дорівнювати сумі втрат напорів на усіх

трубах. Таким чином, для послідовного з'єднання маємо наступні основні рівняння:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q \quad (11)$$

$$\sum h_{M-N} = \sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3, \quad (12)$$

де $\sum h_1$, $\sum h_2$ та $\sum h_3$ – сумарні втрати напорів на з'єднаних трубах із урахуванням місцевих опорів.

Рівняння (11)-(12) визначають правила побудови характеристик послідовного з'єднання труб. Тобто, якщо відомі характеристики кожного трубопроводу, то згідно з ними можна побудувати характеристику всього послідовного з'єднання M-N.

Аналогічно можна визначити характеристики нелінійних з'єднань (паралельних або розгалужених).

За результатами отриманого гідравлічного розрахунку можна сформулювати управляючий вплив для нормального функціонування СВМ в оперативному режимі, що значно зменшить втрати при управлінні СВМ в реальному часі [5].

Висновки

Таким чином, створення адекватної моделі СВМ, а саме, використання ІГМ елементів мережі, повнота інформації про її структуру та параметри, об'єктно-орієнтований підхід при їх використанні, швидкий метод гідравлічного розрахунку мережі в будь-який час її функціонування – дозволять значно зменшити втрати при оперативно-диспетчерському управлінні мережею.

Список літератури

1. Анпілогов П.І., В.М. Михайленко, Анпілогов А.П., Кошарна Ю.В. Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. збірник - К.: КНУБА, 2007 - Вип. 9. - с. 26-34.
2. Кошарна Ю.В. Алгоритмічна та програмна реалізація задач управління проектом розвитку комунікаційних мереж // Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі: Проблеми науки,

практики та освіти: Зб. наук. праць XII Міжнародної наук.-практ.конф. – К.: Вид-во Європ.ун-ту, 2006. – Т.2. – С. 218-222.

3. Кошарна Ю.В. Математична модель прогнозування стану інженерних мереж за умов управління проектом їх реконструкції та розвитку // Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі: Проблеми науки, практики та освіти: Зб. наук. праць XI Міжнародної наук.-практ.конф. – К.: Вид-во Європ.ун-ту, 2005. – Т.2. – С. 3-8.

4. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 288 с.

5. Михайленко В.М., Кошарна Ю.В. Інформаційно-аналітичне забезпечення системи управління проектом розвитку комунікаційних мереж // Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі: Проблеми науки, практики та освіти: Зб. наук. праць XII Міжнародної наук.-практ.конф. – К.: Вид-во Європ.ун-ту, 2006. – Т.3. – С. 33-36.

6. Евстафьев К.Ю., Рульнов А.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 205 с.