

С.В. ДЯДЮН

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПІВ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ

Розглянуті основні етапи проектування систем подачі та розподілу води (СПРВ), запропонована багаторівнева схема проектування керованої по потокорозподілу СПРВ, запропоновано і сформульовано принцип вдосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі. Описані імітаційні моделі технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями, проведено порівняльний аналіз якості та ефективності функціонування СПРВ при наявності різних видів регулюючих ємностей і без них.

1. Вступ

Сучасний етап розвитку систем подачі і розподілу води (СПРВ), як і трубопровідних систем в цілому, характеризується безперервним зростанням їх масштабів, ускладненням структури, посиленням внутрішніх і зовнішніх зв'язків, підвищенням ролі системних факторів. В умовах розвитку СПРВ в просторі і в часі традиційні методи проектування СПРВ, засновані на їх гідравлічних і техніко-економічних розрахунках в режимі максимального водоспоживання, малоефективні. У цих умовах системний підхід до вирішення задач оптимального проектування і розвитку СПРВ, що передбачає комплексну оцінку розглянутих рішень з точки зору економічності, надійності, керованості планованого варіанту системи і інших критеріїв, що впливають, стає все більш необхідним.

Зокрема, значне підвищення якості та ефективності функціонування СПРВ може бути досягнуто за рахунок вдосконалення принципів їх проектування та реконструкції. Одним з основних таких принципів є принцип проектування СПРВ з урахуванням їх керованості. Крім того, проєктовані водопровідні мережі повинні мати ієрархічну структуру, окремі рівні якої розв'язувалися б через регульовальні пристрої.

Ці та інші принципи проектування СПРВ роблять необхідними розробку і застосування людино-машинних методів аналізу і синтезу потокорозподілу, що засновані на інтерактивних процедурах спілкування людини і комп'ютера і лежать в основі створення САПР систем водопостачання. У той же час гранично гострою стала потреба в систематичному застосуванні сучасних методів імітаційного моделювання та кількісного обґрунтування оптимальних рішень шляхом створення практично ефективних людино-машинних систем автоматизованого проектування СПРВ. Вирішення цієї проблеми - обов'язкова умова подальшого вдосконалення всього процесу проектування, а також підвищення економічних показників і оперативності проектних рішень.

2. Аналіз сучасних теоретичних і практичних особливостей проектування та реконструкції систем подачі і розподілу води

При проектуванні СПРВ необхідно визначити кількість і місце розташування окремих підсистем, структуру СПРВ, а також параметри і змінні кожної з підсистем таким чином, щоб забезпечити подачу води всім споживачам в потрібних кількостях і під заданими тисками. Проектування повинно здійснюватися з урахуванням стохастичного характеру процесів споживання води, динаміки розвитку системи, надійності і великої ймовірності виникнення позаштатних ситуацій (аварійне відключення, стихійне лихо тощо).

Все це призводить до необхідності проектування СПРВ, що мають властивість керованості за потокорозподілом, тобто в мережі повинні бути закладені різні активні і пасивні регулятори, резервні джерела води і лінії зв'язку, що забезпечують запас пропускної здатності мережі [1]. Очевидно, кращим буде той варіант, вартість якого менше.

Крім того, проектування СПРВ має враховувати наявність функціонуючих мереж. Тому проектуванню водопровідних мереж повинні передувати етапи обстеження цих мереж і

комп'ютерної обробки отриманих результатів з метою аналізу стану поточкорозподілення в діючій частині мережі.

Проектовані водопровідні мережі також повинні мати ієрархічну структуру, окремі рівні якої розв'язувалися б через регулювальні пристрої.

Таким чином, проектування СПРВ зводиться до вибору з множини можливих допустимих варіантів мережі оптимального варіанту за критерієм вартості, що задовольняє ряду перелічених і часто суперечливих вимог, частина з яких слабо піддається формальному опису. Математична постановка такої задачі і, тим більше, її рішення, загалом, досить складні. Це пов'язано з тим, що на початковому етапі проектування немає інформації для вибору оптимального варіанту, оскільки відсутні конкретні дані не тільки про можливу структуру мережі, але і про розташування деяких її підсистем, невідомі характеристики багатьох підсистем і особливості роботи мережі для спеціальних режимів тощо. У зв'язку з цим під проектуванням СПРВ мається на увазі вибір раціонального, близького до оптимального варіанту проекрованої мережі.

Якщо для одного з режимів досліджуваний варіант СПРВ не задовольняє вимогам її функціонування, роблять корекцію, що дозволяє зміною деяких параметрів (а іноді і за рахунок вжиття спеціальних заходів - резервування додаткових ємностей або активних джерел, що перекидають воду з інших районів) ввести поточкорозподіл в заданий для цього режиму діапазон [1,2].

Початковим етапом проектування складної водопровідної мережі є розбиття її на рівні ієрархії на основі системного підходу з урахуванням розв'язки цих рівнів через різні елементи розв'язки. При цьому виходи вищого рівня будуть входами для нижніх рівнів. Потім, з огляду на можливість розв'язки мережі, системний підхід застосовується при проектуванні кожного окремого рівня, починаючи з нижнього.

Реконструкція СПРВ також зводиться до задачі проектування при частково заданій структурі і сталості ряду параметрів, яка вирішується на базі математичної моделі поточкорозподілу в сталому режимі [1].

У практиці проектування СПРВ типовою є система водопостачання, яка містить з'єднані водоводами активні джерела живлення мережі водою, послідовно встановлені зональні запасно-регулюючі ємності, зональні керовані насосні станції (ЗКНС) і кільцеві водопровідні мережі [3-8,13].

Однак в такій системі водопостачання кожне з її активних джерел жорстко зв'язане зі своєю зоною. Це унеможливує перерозподіл навантаження як між окремими джерелами живлення мережі водою, так і між окремими розрахунковими вузлами всередині системи. Тому, в разі відхилень дійсних витрат води від їх розрахункових значень, така СПРВ не в змозі задовольнити потребу в воді абонентів, включених в систему, тобто стає в цьому плані ненадійною.

Одним з можливих шляхів поліпшення водопостачання споживачів може стати підвищення ефективності використання внутрішніх ресурсів системи водопостачання за рахунок перерозподілу наявних в ній запасів води відповідно до умов, що змінилися, водоспоживання окремими групами абонентів.

Більш досконалою є система водопостачання [9], що містить з'єднані водоводами активні джерела живлення мережі водою, послідовно встановлені зональні запасно-регулюючі ємності, ЗКНС, з'єднані напірним трубопроводом з кільцевими водопровідними мережами, а також низьконапірний трубопровід, що зв'язує активні джерела. Зональні запасно-регулюючі ємності і ЗКНС розміщені між низьконапірним трубопроводом і кільцевими водопровідними мережами.

У такій СПРВ низьконапірний трубопровід об'єднує всі активні джерела живлення мережі водою, що забезпечує їх взаємне резервування і підвищує в деяких межах якість постачання водою абонентів системи. У той же час, низьконапірний трубопровід в даній системі водопостачання не усуває жорсткий гідравлічний зв'язок між точкою підключення до нього зональної запасно-регулюючої ємності, ЗКНС і підключеною до цієї станції кільцевою водопровідною мережею. Саме по цьому ланцюгу споруд і водоводів системи здійснюється транспортування води в зону, що живиться нею, яка об'єднує певну групу споживачів води. Наприклад, при збільшенні споживання води в одній із зон для забезпечення її зрослої потреби може використовуватися вода, запасена в низьконапірному трубопроводі і зональних запасно-регулюючих ємностях, пов'язаних з іншими активними джерелами живлення мережі. Однак транспор-

тування зростаючого потоку води для зони, що відчуває її недолік, буде відбуватися по вказаному вище ланцюгу споруд і водоводів, що належать цій зоні.

В іншому випадку, при зменшенні відбору води споживачами, які приєднані до кільцевої водопровідної мережі однієї з зон, невитрачена вода буде запасатися, перш за все, в зональній запасно-регульованій ємності цієї зони, а потім вже в зональних запасно-регульованих ємностях інших зон системи водопостачання. Однак у будь-якому випадку, вода, запасена в запасно-регулюючій ємності, що належить будь-якій з зон, які об'єднують кільцеві водопровідні мережі, не може бути використана для погашення дефіциту води, що утворився в сусідніх зонах. В силу цього, розглянута система водопостачання, створивши умови для взаєморегулювання між активними джерелами живлення мережі, не може забезпечити взаєморегулювання в інших її підсистемах, що знижує якість забезпечення водою абонентів, включених в систему водопостачання

3. Визначення проблематики, мети і задач дослідження

Класичні способи проектування СПРВ в достатній мірі досліджені і тією чи іншою мірою реалізуються в практиці проектування реальних СПРВ [3-8]. Основна відмінність, або навіть разрыв між теорією і практикою проектування СПРВ, полягає в недостатній мірі розробки та впровадження САПР систем водопостачання, що використовують методи структурної та параметричної оптимізації СПРВ, методи імітаційного моделювання потокорозподілу в проєктованих водопровідних мережах для різних режимів в нормальних умовах їх функціонування і позаштатних ситуаціях. Облік керованості при проектуванні СПРВ дозволяє підвищити надійність і ефективність їх функціонування, тривалість експлуатації мереж.

Сучасні СПРВ, зокрема, як і весь клас трубопровідних систем енергетики в цілому, характеризуються великою топологічною складністю, тобто містять велику кількість взаємопов'язаних ділянок. Проектування таких СПРВ, які найбільш щільно відбивають майбутні потреби і дозволяють легко перебудовувати їх структуру та параметри при оперативному управлінні і аварійних ситуаціях, має бути багаторівневим. Причому окремі рівні водопровідних мереж повинні бути розв'язані між собою. Ці вимоги реалізовані в даний час для енергосистем і газових мереж, причому елементами розв'язки для перших є трансформатори, а для других - регульовальні пристрої (газорегулюючі станції, газорегулюючі пункти тощо.).

Енергосистема розділена на рівні в залежності від напруги в мережі, а система газопостачання - від тиску. При проектуванні СПРВ водопровідна мережа також розбивається на рівні, які представляють собою систему магістральних каналів і водоводів (1-й рівень), низьконапірний міський водопровід (2-й рівень), міську магістральну мережу, розчленовану на зони (3-й рівень), квартальні мережі (4-й рівень), будинкові мережі (5-й рівень). Однак, як правило, ці рівні зв'язуються між собою жорсткими зв'язками: дуже рідко в сучасних СПРВ проводиться розв'язка рівнів.

З метою забезпечення вимог надійності водопровідні мережі проєктуються кільцевими і розбиваються на рівні, що проєктуються окремо. Однак в процесі практичної реалізації міська водопровідна мережа втрачає свою багаторівневність, тому що рівні зазвичай не розв'язані між собою елементами розв'язки, що призводить до значного ускладнення задач проектування і управління.

Відсутність розв'язки між рівнями призводить до сильної залежності між ними, великим похибкам між розрахунками окремих рівнів, якщо вони проводилися в припущенні їх незалежності, і, що найголовніше, до різкого ускладнення проблеми оперативного управління СПРВ.

Таким чином, багаторівневність водопровідних мереж чітко проглядається лише на етапі проектування. В процесі практичної реалізації розглядати такі мережі як ієрархічні з точки зору управління не можна, тому що рівні сильно пов'язані між собою, а СПРВ міста являє собою єдину нерозривну систему, управляти якою складно. Завдання проектування та управління стають простішими, якщо із загальної мережі вдається виділити будь-який окремий рівень. Це може бути досягнуто шляхом розв'язки існуючих рівнів через різні регульовані елементи. Ними є такі пасивно-активні регулюючі ємності водопровідних мереж, як резервуари, водонапірні колони, водонапірні башти. Ієрархічна структура СПРВ при використанні різних елементів розв'язки може бути зображена у вигляді, схематично представленою на рис. 1.

За своїм функціональним призначенням, крім функції регуляторів системи, регулюючі ємності виконують роль активних і пасивних елементів. Резервуари, що розташовуються на досить високих відмітках, є напірними (активними) ємностями, аналогічними за своїм

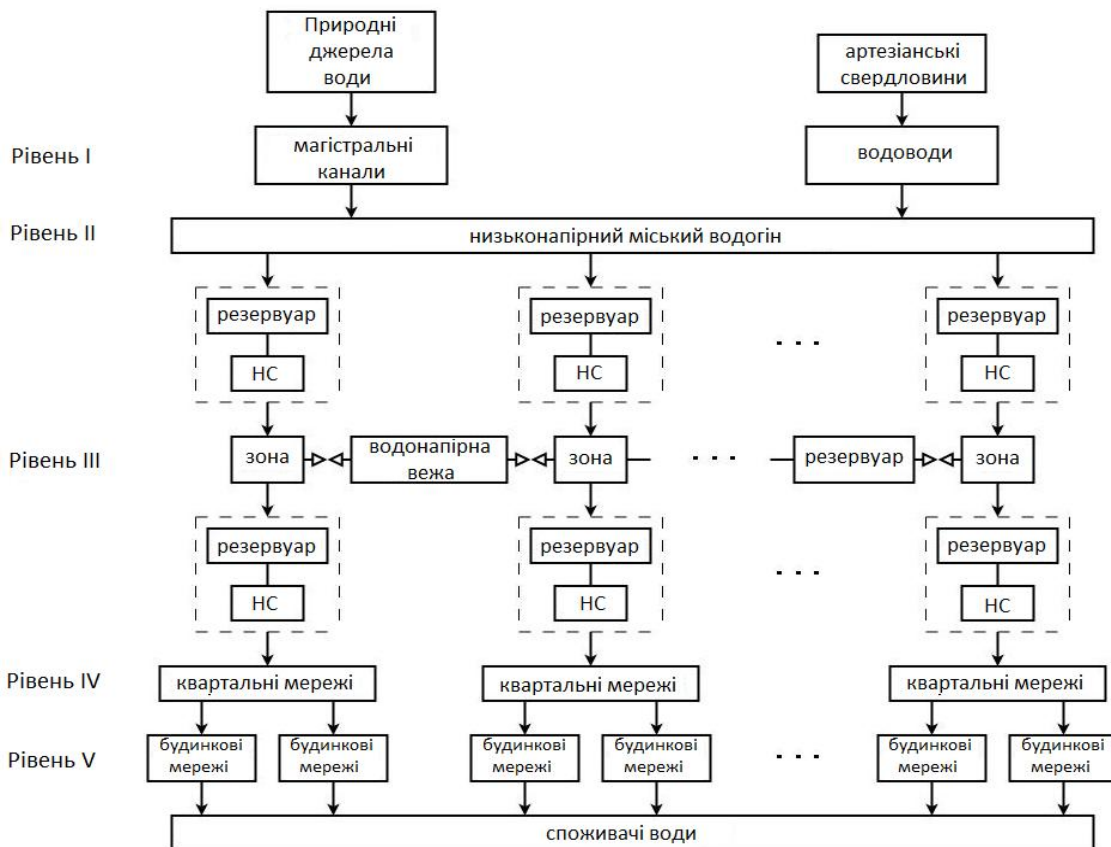


Рис. 1. Ієрархічна структура СПРВ

призначенням водонапірним вежам. З них вода самопливом надходить в розподільну мережу. Напірні ємності доцільно влаштовувати всюди, де це дозволяє рельєф місцевості.

Іншим типом резервуарів є безнапірні (пасивні) резервуари, з яких вода може надходити в систему тільки шляхом її перекачування насосами.

При проектуванні міської водопровідної мережі, яка керована за поточкорозподілом і має ієрархічну структуру з розв'язкою рівнів, місця розташування резервуарів на мережі необхідно вибирати таким чином, щоб вони служили не тільки регулюючими ємностями, а й точками, що пов'язують окремі рівні.

Ця задача тісно переплітається з проблемою зонування водопровідних мереж. Розбиття проектованої СПРВ на зони доцільно здійснювати в тих випадках, коли характер планування об'єктів, що постачаються водою, і рельєф місцевості, на якій вони розташовані, викликає необхідність відбору води споживачами на різних висотних відмітках.

Пропоновані нижче принципи вдосконалення проектування СПРВ передбачають обов'язкове розбиття структури мережі на зони. Зонування має низку переваг: дозволяє знизити надлишкові вільні напори в мережі, зменшити витрати електроенергії на підйом води, знизити сумарну потужність НС, а отже, зменшити експлуатаційні витрати.

Сказане вище визначає мету даного дослідження як удосконалення методів проектування СПРВ за рахунок використання внутрішніх ресурсів системи та побудови імітаційних моделей функціонування СПРВ спільно з різними видами регулюючих ємностей для оцінки ефективності запропонованих методів.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити наступні задачі:

- удосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі;
- імітаційне моделювання функціонування СПРВ з регулюючими ємностями в дискретний момент часу t і на інтервалі $[0, T]$;
- порівняльний аналіз якості і ефективності функціонування СПРВ за наявності різних видів регулюючих ємностей і без них.

4. Вдосконалення проектування систем подачі і розподілу води за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі

Якість і ефективність функціонування систем водопостачання можна підвищити за рахунок вдосконалення принципів проектування СПРВ. Розглянемо один з них - принцип вдосконалення проектування СПРВ шляхом використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі.

Для підвищення якості забезпечення водою споживачів СПРВ спробуємо знайти внутрішні ресурси системи [10,14]. Вдосконалюємо [10,14] описану вище систему водопостачання, додатково забезпечивши її міжзональними запасно-регулюючими ємностями, і при цьому входи і виходи запасно-регулюючих ємностей включимо в напірні трубопроводи суміжних зональних керованих НС. Засіб для створення напору на виході міжзональної запасно-регулюючої ємності виконано у вигляді керованої НС. Це не виключає випадку, коли, виходячи з конкретних умов і рельєфу місцевості, згаданий засіб для створення напору може бути виконано у вигляді стовбура водонапірної вежі, на якому розміщена запасно-регулююча ємність.

Введення в вихідну (розглянуту вище) систему водопостачання додаткових міжзональних запасно-регулюючих ємностей і їх включення в систему згідно із зазначеною схемою дозволяє:

- залучити для регулювання нерівномірності водоспоживання запаси води тих зон, у яких є надлишки води, а також запаси води міжзональних запасно-регулюючих ємностей;
- створити додаткові резервні запаси води в міжзональних запасно-регулюючих ємностях шляхом накопичення в них надлишку води з зон зі зниженим водоспоживанням.

Це забезпечує досягнення мети вдосконалення проектування СПРВ, тому що покращує задоволення потреб у воді абонентів системи.

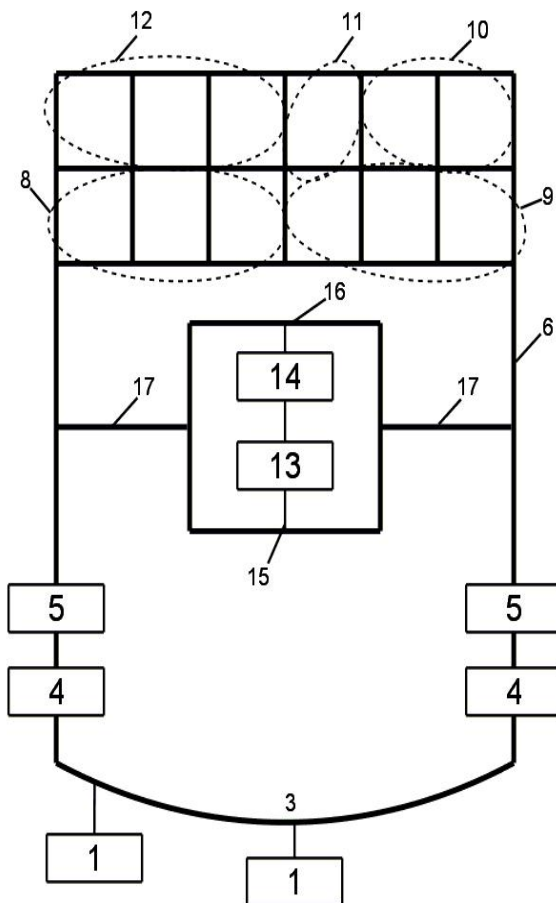


Рис. 2. Система водопостачання

На рис. 2 наведено схему пропонованої системи водопостачання. Розглянемо докладніше принцип її роботи.

Система водопостачання містить активні джерела 1 живлення мережі водою, водоводи 2, що з'єднують джерела 1 з низьконапірним трубопроводом 3, до якого підключені зональні запасно-регулюючі ємності 4 (ЗРЕ) зі своїми зональними керованими НС 5 (ЗКНС). Органні за допомогою напірних трубопроводів 6 з'єднані з кільцевими водопровідними мережами 7, які з'єднані в гідравлічні відокремлені зони 8-12 (умовні кордони зон на рисунку показані пунктиром).

Між суміжними зональними запасно-регулюючими ємностями 4 розміщені міжзональні запасно-регулюючі ємності (МЗРЕ) 13, кожна з яких має свій засіб 14 для створення напору на її виході. Входи 15 і виходи 16 міжзональних запасно-регулюючих ємностей 13 включені за допомогою трубопроводів 17 в напірні трубопроводи 6 ЗКНС 5, які належать суміжним зональним запасно-регулюючим ємностям 4. Засіб 14 для створення напору на виході 16 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13 може бути виконано у вигляді керованої НС, як це показано на рис.2.

В іншому випадку, виходячи з конкретних умов і рельєфу місцевості, засіб 14 для створення напору може бути виконано у вигляді ствола водонапірної вежі, на якому розміщена запасно-регулююча ємність 13,

або використано природне підняття рельєфу місцевості.

Система водопостачання працює наступним чином.

Активні джерела 1 живлення мережі водою подають її по водоводах 2 в низьконапірний трубопровід 3, який розподіляє воду між зональними запасно-регулюючими ємностями 4.

У нормальних умовах водоспоживання кожна з зональних запасно-регулюючих ємностей 4 накопичує воду для покриття розрахункової нерівномірності водоспоживання в одній із зон 8-12, а саме - в зоні, яка пов'язана зі своєю зональною запасно-регулюючою ємністю 4 через свою ЗКНС 5 і трубопровід 6.

У разі, якщо водоспоживання в кільцевих водопровідних мережах 7 однієї з зон, наприклад, зони 8, зростає настільки, що запасу води в зональній запасно-регулюючій ємності 4 цієї зони 8 виявиться недостатньо для задоволення потреб її абонентів, дефіцит води в зоні 8 може бути поповнений з міжзональної запасно-регулюючої ємності 13 через її керовану НС 14 і трубопровід 17.

В іншому випадку, коли водоспоживання, наприклад, в зоні 8 впаде настільки, що стане менше прогнозованого при розрахунку, тиск на виході ЗКНС 5 (ЗКНС-2), яка живить зону 8, перевищить величину тиску на виході міжзональної запасно-регулюючої ємності 13. Тоді надлишок води з зональної запасно-регулюючої ємності 4 (ЗРС-1) зони 8 через трубопровід 17 подаватиме воду на вхід 15 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13.

У режимі максимального водоспоживання в зоні 8 тиск на виході її ЗКНС 5 (ЗКНС-1) почне падати. Коли цей тиск досягне рівня тиску на вході 15 міжзональної запасно-регулюючої ємності 13, запасена в ній вода буде подаватися в зону 8, компенсуючи дефіцит води, що утворився в зоні 8.

Нарешті, якщо припустити одночасне збільшення водоспоживання в зоні 8 і зменшення водоспоживання в зоні 9 (причому в обох випадках ці зміни водоспоживання виходять за межі можливостей задовольнити потребу в воді тільки від своїх зональних запасно-регулюючих ємностей 4), то абоненти зони з підвищенням водоспоживання, тобто зони 8, отримують додаткову воду не тільки від міжзональної запасно-регулюючої ємності 13, але й від зональної запасно-регулюючої ємності 4 (ЗРС-2) зони 9 по трубопроводах 17 і 6.

Аналогічно здійснюється робота системи водопостачання при змінах водоспоживання будь-якої з її зон (рис. 2).

Таким чином, в запропонованій системі водопостачання забезпечується взаєморезервування між зонами споживання води, коли компенсація пікових витрат води в одній частині зон відбувається за рахунок зменшення водоспоживання в цей же час в інших частинах зон, або за рахунок запасів води в міжзональній запасно-регулюючій ємності. Завдяки цьому досягається підвищення якості задоволення водою абонентів водопровідних мереж системи водопостачання.

5. Імітаційне моделювання технологічних процесів функціонування систем подачі і розподілу води з регулюючими ємностями

Для оцінки ефективності запропонованих [10,14] принципів вдосконалення проектування СПРВ за рахунок використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі використовуватимемо метод імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями є єдиною прийнятним методом дослідження, оскільки алгоритмічне завдання функцій і складність критеріїв якості і ефективності об'єкта робить неможливим пошук аналітичних рішень.

Розробка імітаційних моделей функціонування СПРВ з регулюючими ємностями дозволяє згенерувати і глибше проаналізувати процеси поточкорозподілу в таких системах, програти на моделі ті чи інші прийнятні проектні рішення, оцінити їх ефективність і вибрати оптимальні.

Для оцінки ефективності запропонованих в [10,14] принципів вдосконалення СПРВ була використана наступна імітаційна модель технологічних процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями на будь-якому інтервалі часу.

У її основі лежить рішення задачі аналізу сталого поточкорозподілу у водопровідній мережі спільно з НС і регулюючими ємностями, яке визначається в результаті вирішення

системи рівнянь [2,11,12] відповідної математичної моделі при завданні комбінації значень витрат і тиску як граничної умови на входах і виходах СПРВ.

Для опису процесу споживання води j -им споживачем СПРВ в часі використовуватимемо дискретну функцію часу, що є сумою часток двох синусоїд вигляду

$$q_j^{(H)}(t) = Mq_j^{(H)} + A_j \sin(\omega_j t + \varphi_j), j \in N, \quad (1)$$

які відрізняються різними значеннями математичного очікування $Mq_j^{(H)}$ споживаної витрати води на часовому інтервалі

$$Mq_j^{(H)} = \begin{cases} j_j q_{oi}, & 0 \leq t < t_1 \\ q_{oi}, & t_1 \leq t \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

де $0 < j_j < 1$.

Дослідження проводилися на базі реальної СПРВ, граф якої представлений на рис. 3 і адекватна модель якої була отримана раніше. На цю СПРВ працюють дві НС: ЗКНС-1 і ЗКНС-2. Рельєф місцевості абсолютно рівний. Виберемо інтервал часу доба в годинному розрізі і вважатимемо, що вузлові витрати для кожної години доби постійні і визначаються відповідно до (1). Відомі також число і типи насосів, параметри характеристик агрегатів НС, а також параметри магістральних трубопроводів.

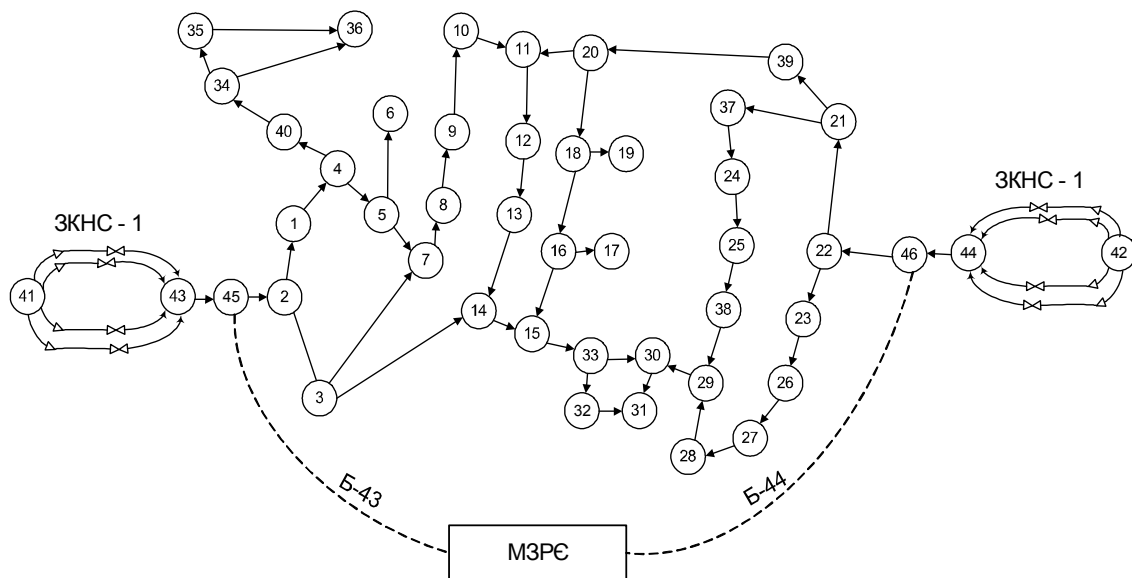


Рис. 3. Схема реальної системи подачі і розподілу води з міжзональною регулюючою ємністю

Розмістимо між цими станціями, згідно з пропозицією, міжзональну регулюючу ємність у вигляді водонапірної вежі і з'єднаємо її із ЗКНС-1 і ЗКНС-2 водоводами Б-44 і Б-43 діаметром 500 мм і довжиною 1400 м кожен так, як це показано на рис. 3.

Введення в систему водопостачання міжзональної регулюючої ємності дозволяє зменшити діапазони зміни режимних параметрів функціонування НС. У табл. 1 приведені результати розрахунку режимів роботи системи водопостачання міжзональною регулюючою ємністю у вигляді водонапірної вежі і без неї при різних рівнях водоспоживання в мережі.

Так, наприклад, в режимі мінімального водоспоживання тиски на виходах НС ЗКНС-1 і ЗКНС-2 знижуються з 78,36 м і 75,39 м при роботі мережі без регулюючої ємності (початковий рівень якої приймався рівним 50 м) відповідно до 58,98 м і 55,76 м при роботі з ємністю. При цьому ємність отримує воду, тобто працює як споживач, оскільки тиски на виходах НС, а точніше, в точках з'єднання напірних водоводів станцій з водоводами, що пов'язують їх з регулюючою ємністю, перевищують тиск на вході ємності. Тиск в дикту-

Таблиця 1

Результати розрахунку режимів функціонування систем подачі і розподілу води при різних рівнях водоспоживання в мережі

Мережа без регулюючої ємності						
а	б	в	г	д	е	ж
1	78,36	0,6436	75,39	0,5534		70,29
2	74,20	0,7296	70,38	0,6270		63,83
3	66,82	0,8573	61,57	0,7387		52,49
4	61,16	0,9420	54,87	0,8136		43,85
5	51,61	1,0088	43,57	0,9262		29,29
6	48,15	1,1111	39,48	0,9637		24,01
7	32,88	1,2800	21,47	1,1140		0,79
Мережа з регулюючою ємністю (тиск у вузлі з ємністю 50 м)						
1	58,98	0,9726	55,76	0,8041	0,5796	50,79
2	56,84	1,0016	53,30	0,8301	0,4751	46,55
3	54,18	1,0364	50,60	0,8578	0,2982	40,45
4	52,92	1,0524	50,01	0,8638	0,1606	36,82
5	51,04	1,0760	48,30	0,8807	-0,0383	30,62
6	50,52	1,0823	47,46	0,8890	-0,1035	28,41
7	49,30	1,0972	43,57	0,9263	-0,3705	19,31

а) № режиму; б) тиск на виході ЗУНС-1, м; в) витрата на виході ЗУНС-1, м³/с; г) тиск на виході ЗУНС-2, м; д) витрата на виході ЗУНС-2, м³/с; е) витрата ємності, м³/с; ж) тиск в диктуючій точці, м.

ючій точці (вузол № 6 на рис. 3) зменшується з 70,29 м до 50,79 м, тобто істотно знижується надлишковий тиск в мережі.

У режимі максимального водоспоживання тиски на виходах НС збільшується з 32,88 м і 21,47 м і при роботі мережі без регулюючої ємності відповідно до 49,3 м і 43,57 м при роботі з ємністю. При цьому регулююча ємність подає воду в мережу, тобто працює як активний елемент, оскільки тиски на виходах НС нижче за тиск на вході регулюючої ємності. Тиск в диктуючій точці збільшується з 0,79 м до 19,31 м, тобто за рахунок зменшення недопостачань води споживачам підвищується якість функціонування водопровідної мережі.

Таким чином, наявність міжзональної регулюючої ємності в системі водопостачання сприяє якіснішому забезпеченню водою споживачів під тиском на рівні нормативного, зниженню надлишкового тиску в мережі і, як наслідок, зменшенню ймовірності виникнення аварійних ситуацій на мережі.

6. Порівняльний аналіз якості і ефективності функціонування систем подачі і розподілу води за наявності різних видів регулюючих ємностей та без них

Підвищення якості і ефективності функціонування СПРВ може бути досягнуте за рахунок поліпшення проектування як її елементів, так і СПРВ в цілому.

Розглянемо роботу СПРВ за наявності міжзональної регулюючої ємності, встановленої між НС, і без неї на інтервалі часу доба в годинному розрізі (рис.3). Для цього скористаємося наявною імітаційною моделлю процесів подачі і розподілу води. Розглянемо такі різновиди міжзональної регулюючої ємності як водонапірна вежа, водонапірна колона і резервуар, встановлений на певній висоті.

Промодельємо роботу СПРВ з регулюючою ємністю і без неї шляхом рішення задачі аналізу сталого поточкорозподілу в даній системі. При цьому в обох випадках вважатимемо режим водоспоживання в мережі незмінним впродовж кожної години доби, а управляючі дії на насосних станціях - фіксованими протягом доби. На насосній станції ЗКНС-1 включені в паралельну роботу 4 насосні агрегати, на ЗКНС-2 - 2.

В процесі імітаційного моделювання виконувався підрахунок значень критеріїв якості і ефективності в кожен дану годину доби і в цілому на інтервалі часу доба.

У результатах розрахунків якість функціонування СПРВ з регулюючою ємністю і без неї в дискретні моменти часу 0, 1, 2 ..., 23 визначалася:

- ймовірністю незадоволення потреби споживачів у воді у момент часу

$$Y_0(k) = \frac{n'(k)}{n}, \quad (3)$$

де n' - число незабезпечених водою споживачів;

- непрямою оцінкою величини дефіциту води СПРВ у момент часу

$$Y_1(k) = \begin{cases} \sum_{i \in N} [h_i^+ - h_i(k)] & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+; \end{cases} \quad (4)$$

- глибиною виникнення дефіциту води в СПРВ у момент часу

$$Y''_1(k) = \begin{cases} \max_{i \in N} [h_i^+ - h_i(k)] & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+ \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+ \end{cases}; \quad (5)$$

- відносною величиною дефіциту води в СПРВ у момент часу

$$Y_1^*(k) = \begin{cases} 1 - \sum_{i \in N} \frac{h_i(k)}{h_i^+}, & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+ \end{cases}. \quad (6)$$

Ефективність функціонування СПРВ в моменти часу 1, 2 ..., 23 визначалася:

- сумою енерговитрат на насосних станціях СПРВ у момент часу k

$$Y_2(k) = \sum_{i \in L} N_i(k) = \sum_{i \in L} \sum_{j \in K_i} N_{ij}(k), \quad (7)$$

де K_i - множина агрегатів $i - i$ НС;

- сумою приведених енерговитрат на НС СПРВ у момент часу k

$$Y_2^*(k) = \sum_{i \in L} q_i^{(a)}(k) h_i^{(a)}(k), \quad (8)$$

- сумою вільних надлишкових напорів у СПРВ у момент часу k

$$Y_2^{**}(k) = \sum_{i \in N} [h_i(k) - h_i^+]; \quad (9)$$

- величиною максимального відхилення тиску у вузлах СПРВ у момент часу k від його мінімально допустимого значення

$$Y^*_2(k) = \max_{i \in N} [h_i(k) - h_i^+]. \quad (10)$$

Показники $Y_2^{**}(k), Y^*_2(k)$ визначалися тільки в тих випадках, коли $Y_0(k), Y_1(k)$ дорівнювали нулю.

Порівняльний аналіз значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ проводився на інтервалі часу доба за наявності різних видів регулюючої ємності і без неї. При цьому були використані наступні показники, що характеризують якість і ефективність функціонування СПРВ в цілому і відносно i -го споживача на даному інтервалі часу $[0, T]$:

- непряма оцінка ймовірності виникнення дефіциту води в i -му вузлі водопровідної мережі на інтервалі часу $[0, T]$

$$Y_{oi}(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \eta_{oi}(k); \quad (11)$$

- непряма оцінка середнього значення величини дефіциту води в i -му вузлі мережі на інтервалі часу $[0, T]$

$$Y_{1i}(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \eta_{1i}(k); \quad (12)$$

- оцінка відносного значення величини дефіциту води в i -му вузлі мережі на інтервалі $[0, T]$

$$Y_{ii}^*(T) = \frac{Y_{ii}(T)}{h_i^+}; \quad (13)$$

- глибина виникнення дефіциту води в i -му вузлі мережі на інтервалі $[0, T]$

$$Y_{ii}''(T) = \max_{k=0,1,\dots,23} [h_i^+ - h_i(k)]. \quad (14)$$

Тут

$$\eta_{oi}(k) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+, \end{cases} \quad (15)$$

$$\eta_{ii}(k) = \begin{cases} h_i^+ - h_i(k), & \text{якщо } h_i(k) < h_i^+, \\ 0, & \text{якщо } h_i(k) \geq h_i^+, i \in N, \end{cases} \quad (16)$$

де $h_i(k), h_i^+$ - відповідно, поточне значення тиску у момент часу k і мінімальний допустимий тиск в i -му вузлі СПРВ; N - множина вузлів мережі із споживачами.

Як показник, що характеризує якість функціонування СПРВ на інтервалі часу $[0, T]$, використовувалася згортка критеріїв (11) вигляду:

$$Y_0(T) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} Y_{oi}(T). \quad (17)$$

Вираз (17) визначає непряму оцінку середнього значення ймовірностей виникнення дефіциту води в СПРВ на інтервалі часу $[0, T]$.

Крім того, використовувалася згортка критеріїв (12) вигляду:

$$Y_1(T) = \sum_{i \in N} Y_{ii}(T). \quad (18)$$

Вираз (18) визначає непряму оцінку дефіциту води в СПРВ на інтервалі $[0, T]$.

Як показник, що характеризує ефективність функціонування СПРВ на інтервалі $[0, T]$, використовувався вираз

$$Y_2(T) = \frac{1}{T} \sum_{j \in L} \sum_{k=1}^T N_j(k), \quad (19)$$

де $N_j(k)$ - значення витрат енергії j -ї НС у момент часу k ; L - множина НС.

Крім того, використовувався показник, що характеризує сумарні витрати потужності на НС СПРВ за період $[0, T]$:

$$Y_2'(T) = T * \sum_{j \in L} Y_2(T) \quad (20)$$

і показник, що характеризує суму приведених енерговитрат на НС СПРВ за час $[0, T]$:

$$Y_2^*(T) = \sum_{k=0}^T \sum_{i \in L} q_i^{(a)}(k) \eta_i^{(a)}(k), \quad (21)$$

де $q_i^{(a)}(k), \eta_i^{(a)}(k)$ - відповідно, витрата і тиск на виході i -ї НС у момент часу k .

Середня і загальна подача води НС в мережу на інтервалі $[0, T]$ визначалися у вигляді

$$Y_3(T) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^T \sum_{j \in L} q_j^{(a)}(k), \quad (22)$$

$$Y_3'(T) = T * Y_3(T), \quad (23)$$

де $q_j^{(a)}(k)$ - подача води j -ї НС у момент часу k .

Результати порівняльного аналізу значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ на інтервалі часу доба за наявності різних видів регулюючої ємності і без неї наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз критеріїв ефективності і якості функціонування систем подачі і розподілу води на інтервалі часу доба при роботі системи з МЗРЕ і без неї

а	б	в	г	д	е	ж	и	к	л
СПРВ без МЗРЕ	104104,8	26007,6	1522,81	від 0,588 до 4,436	від 0,167 до 0,333	від 0,016 до 0,121	від 6,571 до 22,178	108,275	0,2604
СПРВ з МЗРЕ (колоною)	108493,2	26665,8	1670,75	від 0,297 до 0,859	від 0,042 до 0,125	від 0,008 до 0,023	від 7,127 до 13,233	20,46	0,0463
СПРВ з резервуаром (вежею)	113837,4	27436,0	1705,55	0	0	0	0	0	0
Інтервал [3,24] год.									
1) СПРВ без МЗРЕ	94856,9	24295,6	1489,98	від 0 до 0,308	від 0 до 0,083	від 0 до 0,008	від 0 до 3,89	0,319	0,00312
2) СПРВ з МЗРЕ (колоною)	92319,8	22967,9	1325,93	від 0,672 до 5,07	від 0,191 до 0,381	від 0,018 до 0,138	від 6,571 до 22,178	123,743	0,2976

В даній таблиці стовпці позначені: а - тип СПРВ; б - подача води в мережу за добу, м3; в - витрати електроенергії на обох НС за добу, кВт-год.; г - приведені енерговитрати $\sum_{k=0} \sum_{i \in L} Q_i^{(k)} h_i^{(k)}$; д - $(Y_{1i}(T))$ - оцінка середнього значення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі $[0, T]$; е - $(y_{oi}(t))$ - оцінка вірогідності виникнення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі $[0, T]$; ж - $y_{li}^*(t)$ - оцінка відносного значення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі $[0, T]$; з - глибина виникнення дефіциту води в і-му вузлі на інтервалі $[0, T]$; и - $(\chi_i(t))$ - оцінка дефіциту води у всіх вузлах СПРВ; к - $Y_1(T)$ - оцінка середнього значення вірогідності виникнення дефіциту води у всіх вузлах СПРВ.

Результати, наведені у таблиці 2, свідчать про те, що наявність міжзональної регулюючої ємності в СПРВ дозволяє істотно підвищити якість її функціонування на інтервалі часу $[0, T]$ при незначному збільшенні витрати води, що подається в мережу, і потужності, що витрачається. При цьому ймовірність виникнення дефіциту в СПРВ $Y_0(T)$ на інтервалі $[0, T]$ зменшується зі значення 0,26 при роботі без ємності до значення 0,046 при роботі СПРВ спільно з водонапірною вежею і до 0 при роботі з резервуаром.

Якщо ж не враховувати період «вирівнювання» рівня води у водонапірній вежі до величини мінімально допустимого тиску у вузлах мережі (тобто, якби початковий рівень води в башті був не 20 м, а 36,8 м при тому ж режимі водоспоживання), то підвищується не лише якість, але і ефективність функціонування СПРВ. Так для інтервалу часу $[3, 23]$ подача води в мережу зменшується з 94856,9 м3 при роботі СПРВ без башти до 92319,8 м3 при роботі СПРВ з баштою; витрати електроенергії на НС знижуються з 24295,6 кВт до 22967,9 кВт; показник $y_0(t)$ зменшується з 0,2976 до 0,00312; показник $Y_1(T)$ - з 123,74 до 0,319 (рядки 4-5 таблиці 2).

У таблиці 3 розглянуті результати порівняльного аналізу значень критеріїв якості і ефективності функціонування СПРВ, що живиться однією НС, на інтервалі часу доба при роботі з водонапірною вежею і без неї. Як видно з таблиці, без зональної ємності (вежі в прикладі) в аварійному режимі, тобто при виході з ладу і відключенні ЗУНС-2 і включенні ЗУНС-1 на повну потужність, ймовірність виникнення дефіциту в СПРВ на інтервалі часу доба дорівнює 0,259, а середнє значення дефіциту води в СПРВ на цьому інтервалі часу - 166,59. Введення ж зональної ємності у вигляді водонапірної вежі зводить обидва ці показники до величини, рівної нулю.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз значень критеріїв якості і ефективності функціонування системи подачі і розподілу води, що живиться однією насосною станцією, на інтервалі часу доба при роботі з вежею і без неї

а	б	в	$Y_i(t)$	$Y_{oi}(T)$	$Y_i^*(T)$	$Y_{oi}^*(T)$	$Y_i(T)$	$Y_i(T)$
СПРВ без вежі	28,9180	27473,7	0-7,77	0-0,417	0-0,211	30,99	166,59	0,259
СПРВ з вежею	30,9677	28450,3	0	0	0	0	0	0

В даній таблиці стовпці позначені: а - тип СПРВ; б - подача води в мережу за добу, м³; в - сума енерговитрат на НС за добу, кВт-год.

Таким чином, проведені методом імітаційного моделювання дослідження показали, що введення в СПРВ міжзональної регулюючої ємності дозволяє істотно підвищити якість її роботи (при цьому дефіцит води у споживачів практично знижується до нуля), зменшуються витрати електроенергії і спільна подача води в мережу, знижуються надлишкові напори в мережі, внаслідок чого скорочуються непродуктивні витрати і витоки в мережі і зменшується ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Крім того, наявність регулюючої ємності в СПРВ дозволяє стабілізувати режими роботи НС, зменшивши діапазони зміни їх режимних параметрів і підвищивши коефіцієнт корисної дії їх роботи.

Таким чином, як в існуючих, так і в СПРВ, що реконструюються, та знов проєктованих СПРВ достатньо внутрішніх резервів для підвищення якості і ефективності їх функціонування.

4. Висновки

У порівнянні з початковою, запропонована система водопостачання характеризується наступними перевагами:

- можливістю використовувати для регулювання нерівномірності водоспоживання запаси води тих зон, в яких є надлишок води, а також запаси води міжзональних запасно-регулюючих ємностей;
- зниженням надлишкових сумарних напорів в кільцевих водопровідних мережах, що сприяє зменшенню витоку води;
- зменшенням діапазону зміни величини гідравлічного опору, що дозволяє стабілізувати режими роботи всіх насосних станцій системи і підвищити ККД їх роботи;
- підвищенням живучості системи за рахунок того, що вихід з ладу одного з ланцюжків, який включає низьконапірний трубопровід, зональну запасно-регулюючу ємність з керованою НС, з'єднаною водоводом з однією із зон, не викликає порушення функціонування системи водопостачання, тому що в цьому випадку відповідна зона системи буде забезпечуватися водою від найближчої міжзональної запасно-регулюючої ємності;
- зниженням вимог до пропускної здатності низьконапірного трубопроводу і кільцевих водопровідних мереж.

Введення міжзональних регулюючих ємностей в практику проєктування і реконструкції систем водопостачання дозволяє значно підвищити якість забезпечення водою споживачів за рахунок використання внутрішніх резервів системи. Результати імітаційного моделювання реальної СПРВ підтверджують доцільність використання міжзональних регулюючих ємностей в практиці проєктування і реконструкції СПРВ.

Зазначені переваги дозволяють використовувати на практиці запропоновані принципи здійснення проєктування СПРВ і в результаті цього забезпечити реальне підвищення якості та ефективності їх функціонування при експлуатації.

Список літератури: 1. Евдокимов А.Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях. Харьков: Вища школа, 1976. - 153 с. 2. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. Харьков: Вища школа, 1980. 144 с. 3. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982. 440 с. 4. Душкин С.С., Краев И.О. Эксплуатация сетей водоснабжения и водоотведения. К.: ИСО, 1993. 164 с. 5. Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции транспортирования сточных вод. Харьков: Основа, 1996. 316 с. 6. Белан А.Е. Технология водоснабжения. К: Наукова думка, 1985. 263 с. 7. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1995. 688 с. 8. Тугай А.Н.,

Тугай Я.А. Джерела та водозабірні споруди. К.: Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу, 1998. 116 с. 9. Бойко Э.Д., Евдокимов А.Г., Морозов С.В., Петросов В.А. Система водоснабжения. А.с. № 1118754 от 18.04.1983 г. 10. Евдокимов А.Г., Бойко Э.Д., Дядюн С.В., Глуховский И.И. Система водоснабжения. А.с. № 1654475 от 4.01.1989 г. 11. Евдокимов А.Г., Коринько И.В., Кузнецов В.Н., Самойленко Н.И. Рациональная эксплуатация и развитие систем водоснабжения и водоотведения. Т.2. Автоматизация процессов водоотведения. Харьков, ХНУРЕ, 1998. 342 с. 12. Дядюн С.В. Математическое моделирование установившегося потокораспределения в системах водоснабжения // Радиотехника и информатика. Харьков: ХНУРЕ. 2000. № 13. С. 54-56. 13. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск: Из-во ИрГТУ, 2011. 322 с. 14. Дядюн С.В. Совершенствование принципов проектирования и реконструкции систем водоснабжения // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. ИСЭМ СО РАН, Иркутск, 2012. Вып. 61. «Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики». С. 426-433.

Надійшла до редколегії 24.09.2019

Дядюн Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри моделювання систем і технологій Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна. Наукові інтереси: математичне моделювання, системний аналіз, оптимізація складних систем, оптиміальне управління, автоматизоване управління великими системами енергетики. Адреса: Україна, м.Харків, пл. Свободи, 4. Тел. 0952031750, 0982321007.

УДК 378.5

DOI: 10.30837/0135-1710.2019.176.074

В.І. ШЕХОВЦОВА

ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ЛЮДСЬКИХ ЧИННИКІВ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

Проаналізовано існуючі підходи до підвищення якості експлуатації інформаційної системи. Пропонується удосконалення моделі підготовки фахівців з інформаційних технологій університетом на вимоги ІТ-компаній. Визначено сукупність професійно важливих якостей фахівця як складових проектної культури підприємства.

1. Постановка проблеми підвищення якості роботи інформаційних управляючих систем

Якість, надійність та ефективність роботи сучасних інформаційних управляючих систем (ІУС) залежить від багатьох факторів, які можна поділити на дві складові. Перша - це сама ІУС, її функціональність, безпомилковість, гнучкість, зручність, дієздатність та інші показники, що закладаються розробником під час проектування і реалізації проекту. Друга - це експлуатаційні характеристики ІУС, які значною мірою залежать від умов використання та компетентності і операційної дисциплінованості користувачів.

Проблеми підвищення якості експлуатації ІУС на основі визначення, аналізу та управління елементами першої складової зараз прийнято розглядати як окремі задачі формування, аналізу та управління вимогами до ІУС [1-3]. Але проблеми підвищення якості експлуатації ІУС, які виникають внаслідок дії людських чинників на різних стадіях життєвого циклу ІУС, досліджені недостатньо повно. Крім того, в задачах управління якістю експлуатації ІУС, що базуються на елементах першої складової, існує достатньо значуща залежність результатів їх вирішення від вимог, які висуває замовник ІУС, виходячи із власного суб'єктивного бачення, досвіду та вподобань.

Слід зазначити, що проблеми підвищення якості експлуатації ІУС та інших систем шляхом усунення чи зменшення впливу людських чинників мають достатньо довгу історію. Але за цей час науковцями запропоновано лише незначну кількість підходів, моделей, методів та засобів вирішення цих проблем. Тому зменшення чи повне усунення впливу людського чинника на успішність розробки та експлуатації ІУС потребує ретельного аналізу і дослідження, яке слід вважати актуальним і в теоретичному, і в практичному аспектах.