

УДК 621.144.2

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ПОТОКОРОЗПОДІЛОМ У ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

О. Г. Добровольська

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

О. Г. Добровольская

DEVELOPMENT OF METODOLOGY OF DISTRIBUTION MANAGEMENT IN WATER SUPPLY NETWORKS IN REAL TIME

O. Dobrovol'skaya

В даній роботі досліджено вплив гідравлічних характеристик мережі та умов водопостачання на кількість та розташування контрольних вузлів. Встановлено особливості утворення зон недостатнього напору з урахуванням гідравлічних характеристик мережі. Розроблено методику управління потокорозподілом, що дозволяє в залежності від потреби змінювати розташування контрольних вузлів, своєчасно попереджати виникнення аварійних ситуацій на мережі, задавати оптимальний її устрій.

Ключові слова: водопровідна мережа, потокорозподіл, методологія управління, зони недостатнього тиску.

В данной работе исследовано влияние гидравлических характеристик сети и условий водоснабжения на количество и расположение контрольных узлов. Установлены особенности образования зон недостаточного напора с учетом гидравлических характеристик сети. Разработана методика управления потокораспределением, позволяющая в зависимости от необходимости изменять расположение контрольных узлов, своевременно предупреждать возникновение аварийных ситуаций на сети, задавать ее оптимальное устройство.

Ключевые слова: водопроводная сеть, потокораспределение, методология управления, зоны недостаточного давления.

1. Вступ

В роботах [1-3] були розглянуті інноваційні технологічні рішення щодо процесів обробки інформаційного простору технологічних процесів мереж, удосконалення методів визначення витоків в магістральних трубопроводах. На основі експериментальних та розрахункових досліджень була обґрунтована їх ефективність у порівнянні з існуючими технічними рішеннями.

Тому одним із головних напрямлень скорочення енергетичних і матеріальних витрат в системах водопостачання є удосконалення керування потокорозподілом в мережах. При цьому обґрунтований вибір контрольних вузлів при проектуванні та уточнення місць їх обладнання при подальшій

експлуатації забезпечує стабілізацію вузлових напорів на рівні мінімально необхідних.

В цьому полягає сутність оптимізації управління поточкорозподілом для зменшення загальних енерговитрат в мережі. Тому є перспективним обґрунтування вибору кількості та розташування вузлів контролю тиску з урахуванням зон недостатнього напору при проектуванні мереж та з урахуванням змін їх гідравлічних характеристик.

Особливої актуальності тема дослідження набуває у зв'язку з тим, що в аналогічних умовах експлуатуються водопровідні мережі в Румунії, Молдові, Білорусі, Словенії, Хорватії та інших країнах. Тому запропоновані в даній роботі рекомендації можуть бути запропоновані для застосування у роботі комунальних підприємств зазначених країн.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботах [1,4] було зазначено, що оперативність керування роботою водопровідних мереж залежить від вдалого вибору вузлів контролю тиску як на стадії проектування мереж, так і їх уточнення в процесі експлуатації. Особливо це стосується старих водопровідних мереж, які потребують реконструкції та оновлення ділянок. За даними [5, 6] для половини областей України рівень аварійності на мережах перевищує 35 %, а втрати води у розподільчій мережі коливаються в межах 30-50 %.

Інша проблемна ситуація пов'язана з утворенням зон недостатнього та надмірного тиску. В першому випадку це погіршує якість водозабезпечення. В другому стає причиною виникнення нераціональних витоків та аварійних ситуацій в мережах.

Державними будівельними нормами ДБН [6] представлена нормативно-технічна документація з досліджуваної проблеми. Відповідно до неї встановлені значення необхідного напору води, який рекомендовано дотримувати в системах водопостачання будівельних об'єктів:

$$H_{ni} = 10 + 4(n - 1), \quad (1)$$

де n – кількість поверхів у будівлі.

Однією із головних задач керування поточкорозподілом є забезпечення значень вузлових тисків на рівні мінімально необхідних, що залежить від стану інформаційних систем управління комунальних підприємств. Процес розвитку сучасних інформаційних технологій значно покращує процеси керування роботою водопровідних мереж та дозволяє моделювання режимів їх роботи при зміні впливових факторів [2, 3, 7-12]. Інформаційні технології, придатні для керування поточкорозподілом у водопровідних мережах стрімко розвиваються: надається увага удосконаленню систем подачі і розподілу води із врахуванням зміни їх параметрів в процесі експлуатації [7]; встановлені залежності для визначення конструктивних параметрів їх елементів з урахуванням строків та умов їх експлуатації [8]; розвиваються методи визначення витоків в магістральних трубопроводах [2, 9]; удосконалюються методи фіксації

інформаційних сигналів в режимі реального часу [3] ; впроваджуються технології інтеграції перетворювачів із змінною основою логарифму до різних пристроїв автоматики [10]; удосконалюються багато серверні системи обробки інформації [11]; удосконалюється якість відновлення фрагментів зображення керуємих об'єктів [12]

Але зазначені досягнення у розвитку інформаційних технологій стосуються питань зберігання, обробки, візуалізації керуємих об'єктів. При управлінні поточкорозподілом важливим моментом є прив'язка до вузлів контролю тиску.. Досліджувана проблема надзвичайно важлива для європейських країн, фахівці яких приділяють увагу якості питної води, що пов'язано з управлінням поточкорозподілом. В роботах іноземних фахівців вказується на невизначеність питання розміщення контрольних вузлів в системах моніторингу мереж водопостачання та виконується порівняння результатів застосування різних методів розташування цих вузлів [13]. Як в Польщі, так і в Україні, на багатьох комунальних підприємствах нереалізованою залишається інтегрована система управління технічною інфраструктурою [14]. Тому актуальними залишаються питання визначення місць розташування витоків [15], зниження аварійності ділянок [16], підвищення якості та надійності водопостачання. Також спільною проблемою є погіршення стану водопровідних мереж. В цілому погіршення якості води характерно для старих протяжних мереж із сталевих або чавунних труб, [17] що проявляється через хімічні [18] та бактеріологічні ознаки [19]. Закордонні фахівці вказують на погіршення якості води у водопровідних мережах [20], утворення відкладень на внутрішній поверхні труб, зміни гідравлічних умов, збої в роботі мереж [21].

Підсумовуючи вищенаведений аналіз інформаційних джерел, слід відзначити відсутність моделювання зон з недостатніми напорами при зміні гідравлічних характеристик, обґрунтування кількості та місць обладнання вузлів контролю тиску на мережах, що підкреслює перспективу проведеного дослідження.

3. Ціль та задачі дослідження

Мета дослідження – обґрунтування кількості та місць розташування контрольних вузлів при проектуванні та експлуатації водопровідних мереж з урахуванням умов їх живлення та зміни гідравлічних характеристик окремих ділянок. Це направлено на забезпечення мінімально необхідних значень тисків у вузлах водопровідних мереж.

Досягнення мети передбачає виконання ряду задач:

- виконати теоретичне обґрунтування утворення зон з недостатнім напором з урахуванням умов живлення мережі;
- розробити методику управління поточкорозподілом в реальному часі для проєктованих і діючих водопровідних мереж.

4. Матеріали та методи дослідження впливу умов живлення мережі на динаміку вузлових напорів та вибір контрольних вузлів

4.1. Вихідні дані

Дослідження проводились на основі схем, приведених у таблиці 1:

- кільцевої мережі (схема А) із 14 контурів, 32 вузлів та 45 ділянок;
- кільцевої мережі (схема Б) із 13 контурів, 26 вузлів та 38 ділянок;
- кільцевої мережі (схема В) із 8 контурів, 18 вузлів та 25 ділянок;
- кільцевої мережі (схема В) із 15 контурів, 28 вузлів та 42 ділянок;

В таблиці.1 приведені схеми розглянутих мереж та вказані параметри їх роботи: загальна добова витрата $Q_{доб}$, (м³/доб), максимальна подача в мережу Q_{II} , (л/с), номери вузлів підключення водоводів, номери елементів мережі, в яких моделювались зміни гідравлічних характеристик.

Для схем водопровідних мереж, представлених в таблиці 1, були сформовані вихідні дані для виконання гідравлічного розрахунку мереж:

- визначено розрахункову витрату води за кількістю жителів та нормованою витратою води ;
- складено розрахункову схему за планом населеного пункту, пронумеровано вузли та ділянки;
- розраховано вузлові витрати, виконано початковий потікорозподіл;
- сформовано таблицю вихідних даних для виконання гідравлічного розрахунку (форма таблиці 1).

4.2. Методика визначення зон недостатніх напорів

Визначення впливу структури розміщення водоживлювачів мережі на розміри зон недостатнього напору було розглянуто на прикладі водопровідних мереж, схеми яких представлені в таблиці 1. Зміна умов живлення моделювалась шляхом підключення водоводів у різні вузли мережі. Зміна гідравлічних характеристик моделювалась шляхом зміни пропускної здатності ділянок та структури водо розбору з вузлів.

Зміна пропускної здатності ділянок моделювалась на прикладі схем Б і В шляхом зменшення їх діаметру від 10% до 30% із кроком $\Delta = 10\%$ за формулами (1), (2):

$$d_{\phi i} = K_c \cdot d_{\text{діл.}i}, \quad (2)$$

де $d_{\text{діл.}i}$, $d_{\phi i}$ - вихідний і фіктивний діаметри розглянутої і-ої ділянки мережі відповідно, м;

K_c - коефіцієнт зміни опору:

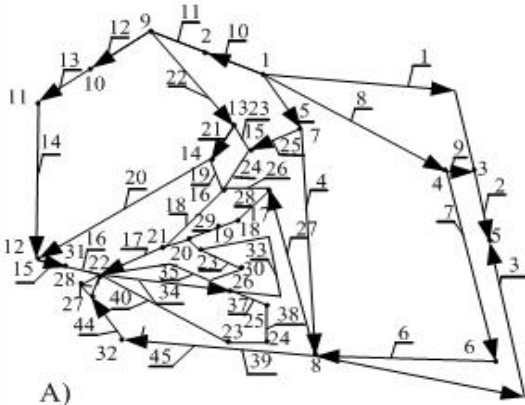
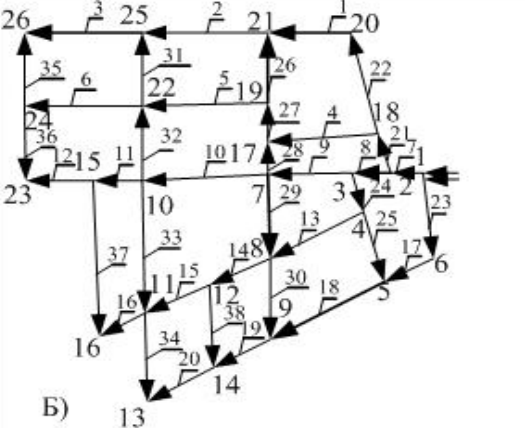
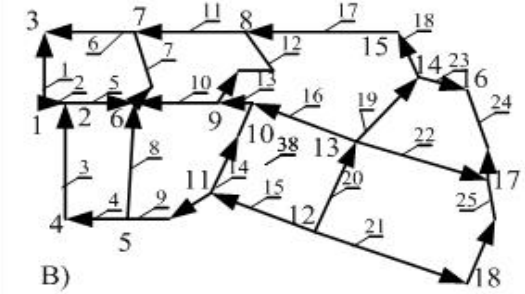
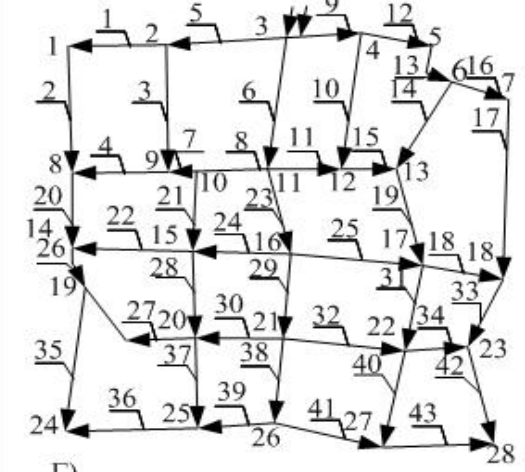
$$K_c = 1 - \frac{P}{100}, \quad (3)$$

де P - відсоток зміни пропускної здатності труби, %.

Для схеми Б промодельовано зміну опору 8 ділянок №1; 3; 8; 12; 18; 26; 29; 34, для схеми В моделювання зміни опору виконувалось для 18 ділянок № 1-4; 6, 9-11; 13; 15-18; 21-25.

Таблиця 1

Характеристика водопровідних мереж

Схема мережі	Варіанти живлення	Зміна гідравлічних характеристик
 А)	1) вузол №1; 2) вузол № 8; 3) вузли № 1 та № 8; 4) вузли № 6 та № 11.	Зміна відбору у вузлах № 4; 5; 7; 9- 11; 14; 15; 19; 20; 26- 30
 Б)	1) вузол №1; 2) вузол № 14; 3) вузли № 7 (підземне джерело живлення).	Зміна пропускної здатності ділянок №1; 3; 8; 12; 18; 26; 29; 34
 В)	1) вузол №1; 2) вузол № 14; 3) вузли № 11 та № 12.	Зміна пропускної здатності ділянок: А) № 2; 3; 10; 13; 16; 22; Б) 1; 4; 6; 9; 11; 15; 17; 18; 21; 23; 24; 25.
 Г)	1) вузол №3; 2) вузол № 26; 3) вузол № 19; 4) вузли № 11 та № 18; 5) вузли № 7 та № 24; 6) вузли № 14 та № 19;	Зміна відбору у вузлах № 8-11; 15-17; 20-22 та у вузлах №2-6; 24- 28.

Моделювання структури водорозбору було виконано на прикладі схем мережі А і Г шляхом збільшення водорозбору від 10% до 20% із кроком $\Delta q = 10\%$ у наступних вузлах:

- для схеми А промодельовано зменшення відбору у 10 вузлах №4-5; 7; 9-11; 14 15; 30 та збільшення відбору у 6 вузлах №13; 19; 20; 26; 2; 29;
- для схеми Г перерозподіл водовідбору промодельовано між 10 центральними вузлами №8-11; 15-17; 20-22 та 9 кінцевими вузлами №2-6; 24-28.

Витрата в мережі залишалась постійною за рахунок зменшення водорозбору з інших вузлів. Для кожної із розглянутих схем мережі було виконано гідравлічні розрахунки та визначені вільні напори в її вузлах при нормальних умовах експлуатації для різних варіантів живлення мереж та з урахуванням змін. При нормальних умовах вільні напори у вузлах визначались відносно критичної точки, при моделюванні змін умов водоспоживання – відносно вузла живлення.

Для визначення впливу структури розміщення водоживлювачів мережі на її гідравлічні характеристики для розглянутих схем визначено оптимальні умови живлення для забезпечення величин вузлових напорів наближених до їх необхідних значень (формула (1)).

Для схем А-Г проаналізовано площі зон з недостатнім напором, які можуть утворитись при зміні гідравлічних характеристик, кількість та розташування контрольних вузлів для попередження утворення таких зон.

5. Результати досліджень гідравлічних характеристик мережі

5.1. Утворення зон недостатнього напору

В результаті проведених досліджень по кожному із розглянутих варіантів зміни водорозбору були встановлені зони недостатнього напору, межі яких визначені по розташуванню вузлів із напором, що відповідає умові:

$$H_{ei} < H_n, \quad (4)$$

де H_{ei} - значення вільного напору в і-му вузлі, м;

H_n - значення необхідного напору [7, п. 6.3.1], м.

Межі зони утворюються в результаті проекції на водопровідну мережу віртуальної п'єзометричної поверхні площиною на рівні $Z_i + H_n$ при умові (4) та визначаються по довжинах ділянок l_i , що відтинаються на ділянках магістральних мереж цією площиною та обслуговують будинки при умові (4). Як приклад, площадні графіки утворення зон недостатнього напору у водопровідній мережі за схемою А при зміні водорозбору в мережі представлені на рис.1.

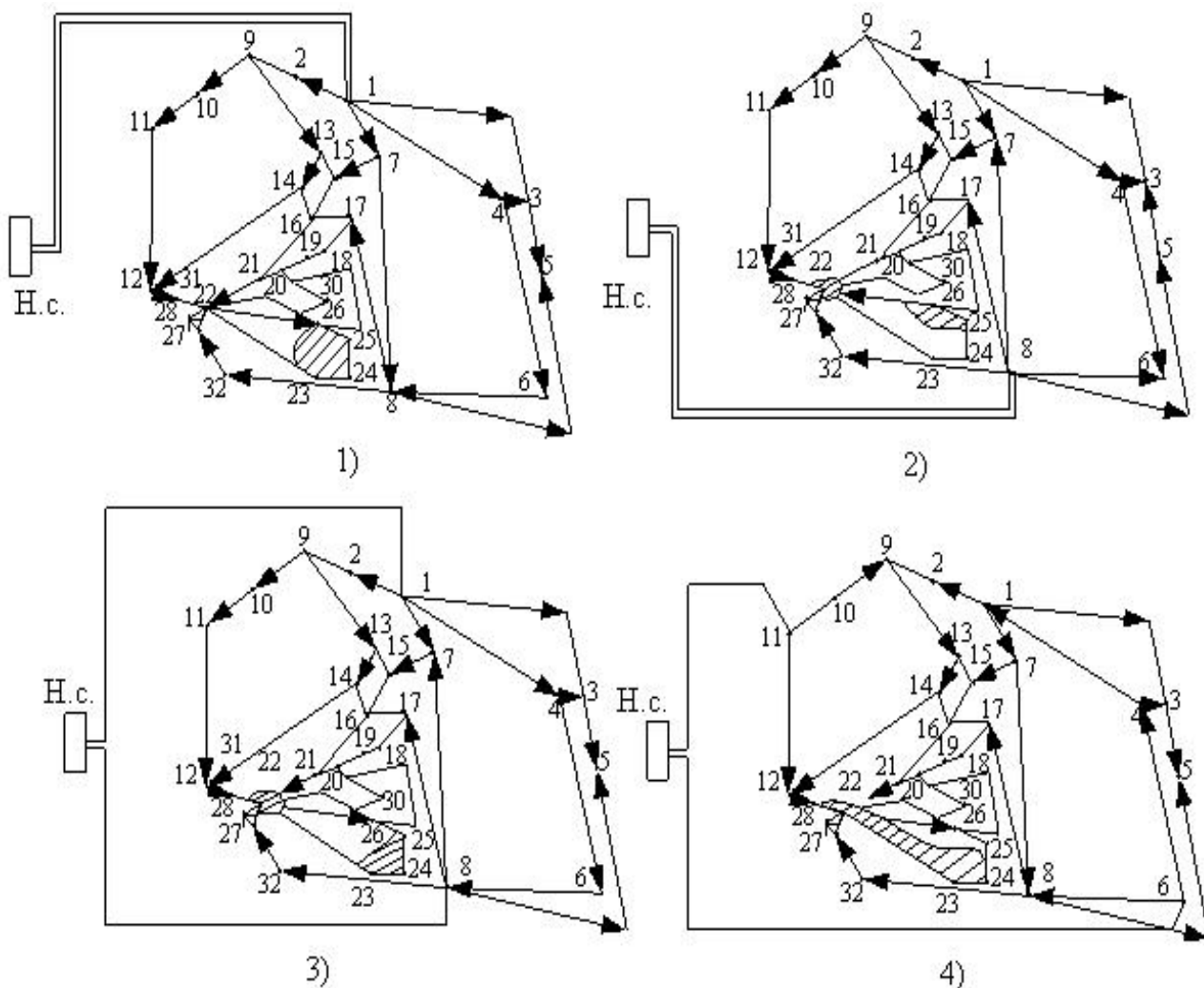


Рис.1. Зони недостатнього напору з урахуванням зміни структури водорозбору для різних варіантів живлення мережі у водопровідній мережі

Як видно з рис.1, найбільшу площу зони недостатнього напору $F_{з.н.н.}$ відносно загальної площі $F_{заг.}$ ($\frac{F_{з.н.н.}}{F_{заг.}}=12,5\%$) при зміні структури водорозбору слід очікувати при умові живлення мережі у вузол 1, найменшу ($\frac{F_{з.н.н.}}{F_{заг.}}=5,8\%$) – при умові живлення у вузлі 8. Для даного випадку це пояснюється розташуванням найвищих геодезичних позначок у вузлі 8.

При зміні пропускної здатності ділянок процес виникнення можливих зон недостатніх напорів на прикладі мережі за схемою Б представлено на рис.2.

Слід зазначити, що при зміні пропускної здатності ділянок, як можна бачити з рис.2, найбільші площі зон недостатнього напору слід очікувати у віддалених відносно вузла живлення районах ($\frac{F_{з.н.н.}}{F_{заг.}}=12,5\%$). Це пояснюється меншим резервом пропускної здатності віддалених ділянок.

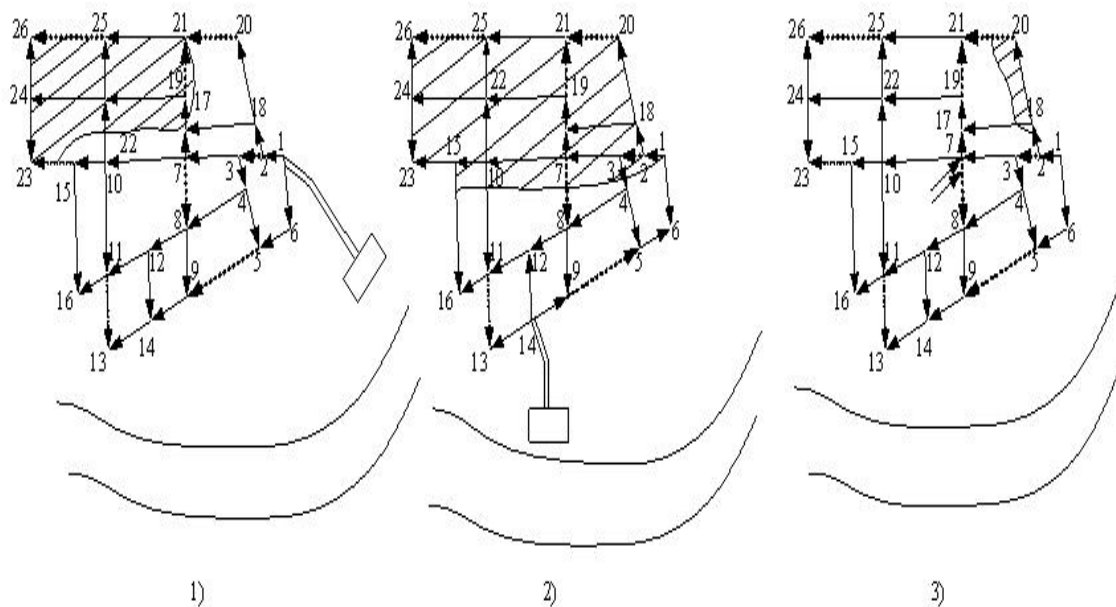


Рис.2. Зони недостатнього напору з урахуванням зміни пропускної здатності ділянок для різних варіантів живлення мережі

Площу цих зон можна суттєво зменшити при умові подачі живлення у центральні вузли мережі (рис. 2 в) - для зазначеного варіанту живлення – $\frac{F_{з.н.н.}}{F_{заг}} = 12,5\%$.

5.2.Значення кількості вузлів контролю тиску

Для визначення впливу розміру зон недостатнього напору на розташування та кількість контрольних вузлів для водопровідної мережі за схемою Г на рис.3 показані графічні залежності зміни площі цих зон $F_{з.н.н.}$ відносно загальної площі $F_{заг.}$, для трьох варіантів живлення з урахуванням можливих змін в структурі водорозбору.

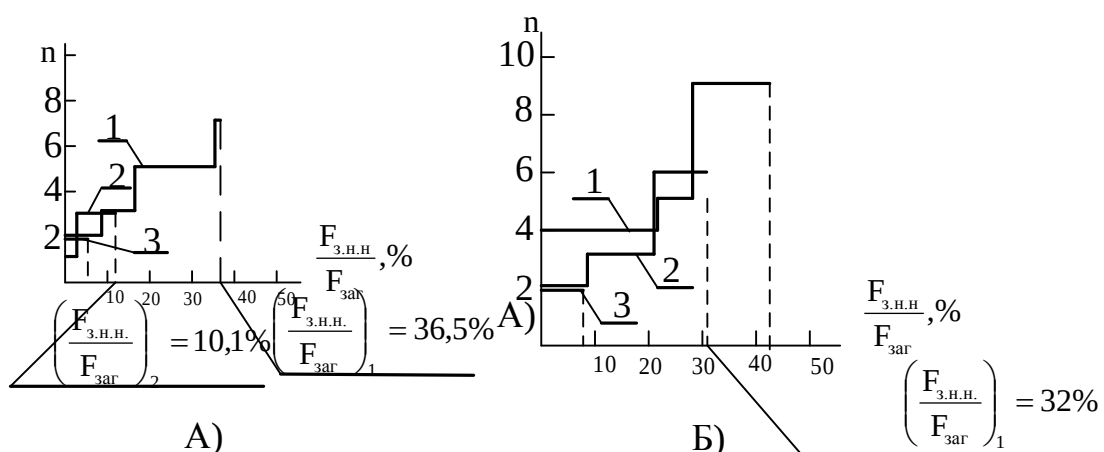


Рис.3 Залежність кількості вузлів n з напором, що менший за необхідний, від змін площ недостатнього напору $F_{з.н.н.}$ з урахуванням гідравлічних факторів: 1, 2, 3 – графічні залежності відповідно для варіантів живлення мережі у вузлі №9; №26 та № 3

При наявності інформації про вільні напори у вузлах мережі на момент виміру тиску в окремих її точках, диспетчер має можливість візуальної оцінки ситуації. При наявності одного вузла, вільний напір в якому менший за необхідний, що відповідає незначним змінам у роботі мережі, він і є контрольним. Якщо цей вузол співпадає з існуючою точкою контролю тиску, то на даному етапі доцільно залишити її незмінною. Кількість вузлів з напором, що менший за необхідний, не є головним критерієм для оцінки зміни водорозбору. Як видно із рис. 3, трапляються ситуації, коли в зоні недостатнього напору з меншою площею знаходиться більша кількість вузлів з напором, що менший за необхідний.

Так для першого варіанту живлення мережі у вузлі №19 при $\frac{F_{з.н.н}}{F_{заг}} = 30\%$ кількість вузлів з недостатнім напором становить 9, а для тієї ж схеми, але для умови подачі води у вузол №26 при $\frac{F_{з.н.н}}{F_{заг}} = 32\%$ кількість вузлів, що знаходиться в зоні недостатнього напору становить 5.

5.3. Методика управління потокорозподілом для проєктованих та діючих водопровідних мереж

Ефективність керування потокорозподілом у водопровідних мережах залежить від правильного вибору кількості та місць розташування вузлів контролю тиску. Аналіз потокорозподілу для проєктованих і діючих водопровідних мереж з метою визначення та уточнення розташування контрольних вузлів та їх необхідної кількості, представлений на рис.4, включає наступні етапи:

1. Уведення початкових даних складається із креслення схеми мережі та створення бази даних її фактичних параметрів (блоки №2 і 3). На даному етапі фактична прив'язкою до місцевості необхідна для візуальної оцінки проєктувальником або диспетчером розподілу тиску у вузлах мережі та меж зон недостатнього напору. При цьому виконується уточнення місць обладнання контрольних вузлів та додаткове конструювання ділянок мережі.

2. Визначення вузлових витрат для різних режимів водопостачання (блоки №4 і 6).

3. Визначення витрат в ділянках мережі, що є дійсними на момент виміру п'єзометрів контрольних вузлах.

4. Уведення значень перепаду п'єзометрів, виміряних в контрольних вузлах, за допомогою програмного модуля для коригування вихідних даних при змінах в роботі системи (блок №7).

5. Визначення фактичних вільних напорів у вузлах мережі, що відповідають визначеному потокорозподілу. П'єзометричні позначки у вузлах мережі визначаються відносно вузлів живлення відповідно до заданих значень напору в них. Вузли, для яких не виконується умова (4), знаходяться на межах зон недостатнього напору в мережі.

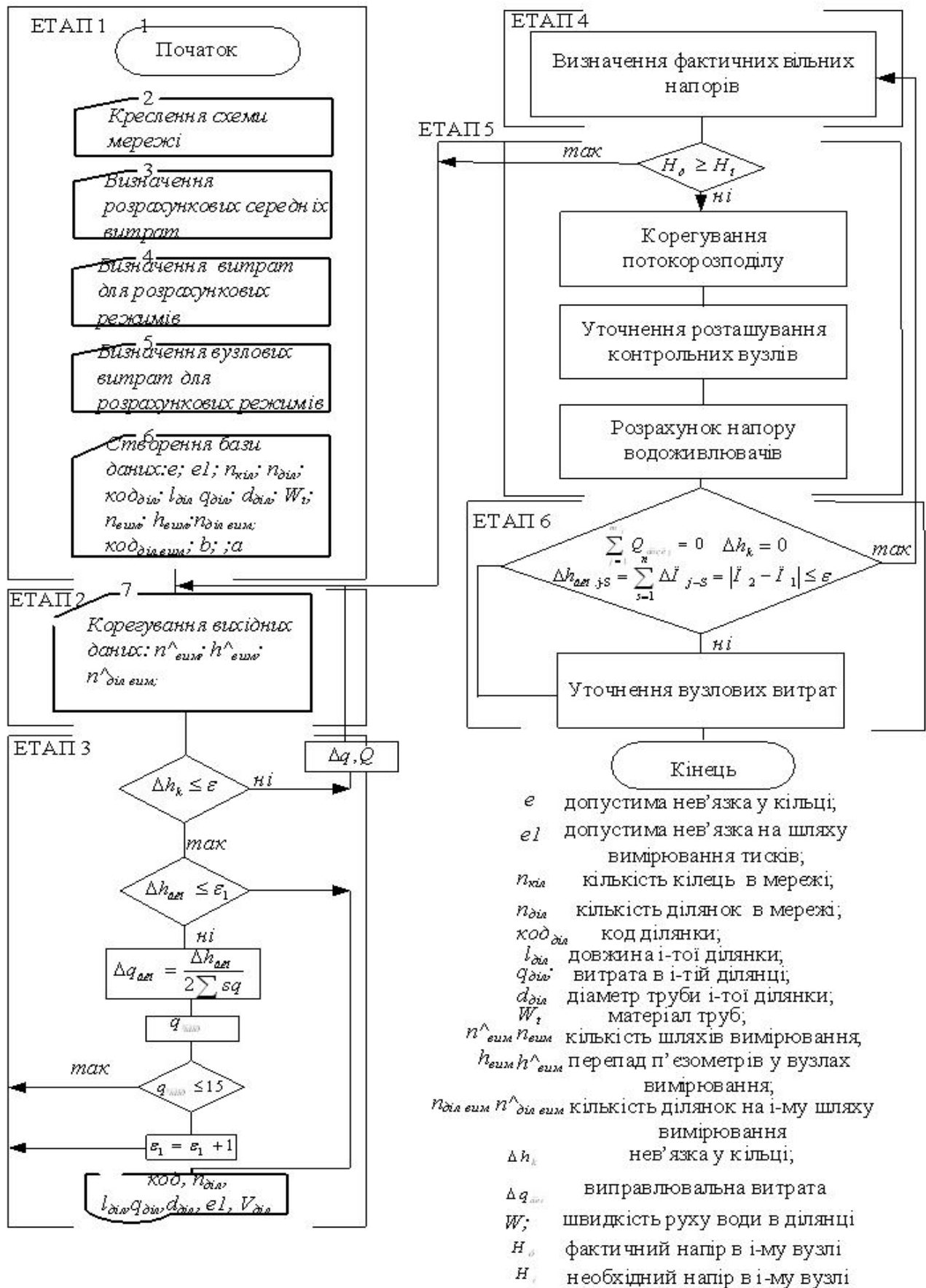


Рис 4. Етапи методики управління потокорозподілом

Таким чином, диспетчер має можливість аналізу оперативної або прогнозованої ситуації, що дозволяє враховувати зміну параметрів роботи мережі внаслідок впливу будь-яких факторів: забудови місцевості, структури водорозбору, зміни пропускної здатності ділянок, врахування рельєфу місцевості при проектуванні.

6. Аналіз витрат в ділянках та вільних вузлових напорів, визначених в умовах реального часу [4], для уточнення розташування вузлів контролю та обґрунтування поточкорозподілу з метою корегування напорів у вузлах.

Для вибору кількості контрольних вузлів та визначенні їх розташування критерієм є величина мінімального вільного напору у вузлі, що знаходиться на межі очікуваної зони недостатнього напору та її розмір.

7. Розрахунок напору водоживлювачів з урахуванням вимірів тиску в окремих точках кільцевої водопровідної мережі.

6. Обговорення результатів дослідження

При визначенні кількості та місць обладнання контрольних вузлів у водопровідній мережі, необхідність чого є результатом аналізу утворення зон недостатнього напору (рис.1, рис.2), закономірною є констатація залежності між їх кількістю вузлів та розміром цих зон.

При керуванні поточкорозподілом у водопровідних мережах необхідна візуальна оцінка очікуваної зони недостатнього напору. У порівнянні з аналогічними методами встановлення кількості контрольних вузлів [13,15] позитивна дія результатів дослідження полягає у встановленні взаємозв'язку між кількістю вузлів контролю тиску та площею можливої зони недостатнього напору в мережі. Це дозволяє працівникам диспетчерських служб комунальних підприємств не тільки візуально оцінити ситуацію, але й прийняти рішення за результатами розрахунків. При наявності одного вузла з напором, меншим за необхідний, та збігу його з існуючою точкою контролю тиску, доцільно залишити її незмінною. Критеріями для збільшення кількості контрольних вузлів та визначення їх розташування є величина мінімального вільного напору у вузлі, що знаходиться на межі очікуваної зони недостатнього напору та її розмір. При $\frac{F_{з.н.н}}{F_{заг}} < 40\%$ достатньо введення одного контрольного вузла з найменшим вільним напором з числа тих, що розташовані на межі очікуваної зони, при $\frac{F_{з.н.н}}{F_{заг}} = 40 - 60\%$ необхідно обладнання 2-3 додаткових контрольних вузла, що вибираються за вказаними критеріями.

Порівняння застосування різних методів визначення вузлів контролю тиску для конкретної схеми водопровідної мережі вказує на їх взаємну сумісність [13].

Вочевидь, основою процесу управління поточкорозподілом у проєктованих та діючих водопровідних мережах є визначення та уточнення розташування контрольних вузлів, завдяки чому можна зменшити витрати та витрати на енергоспоживання в насосних станціях. Так попередження втрат

води при 64 аварійних витоках на протязі року тривалістю в 1 добу для ділянок діаметром 400 мм дозволяє отримати економію у 567 тис. грн. за рік.

Це не розходиться з практичними даними, відомими з робіт [14, 15], автори яких теж пов'язують контроль тиску у вибраних точках з визначенням місць витоків у мережі. Але на відміну від результатів досліджень, опублікованих в [14,15], отримані дані щодо взаємозв'язку між площею зон недостатнього напору та рекомендованою кількістю контрольних вузлів. Наприклад, достовірність способу визначення витоків, який базується на застосуванні діагностичної матриці для чисельних розрахунків гідравлічної моделі [22] залежить від кількості датчиків. Тому методика управління потекорозподілом з урахуванням мінімальної необхідної кількості контрольних вузлів сприяє зменшенню інвестиційних витрат для обладнання таких вузлів.

Зазначені рекомендації з впровадження методики управління потекорозподілом в проєктованих і діючих водопровідних мережах потребують реалізації інтегрованих систем управління технічною інфраструктурою [14]. Як зазначають вітчизняні [8] та закордонні фахівці [14,15], цей процес потребує налагодження взаємозв'язку між об'єктами водопостачання. Від комунальних підприємств будуть потрібні початкові капітальні вкладення в систему управління технічною інфраструктурою. Також необхідні витрати на монтаж додаткових та переобладнання існуючих вузлів контролю тиску при необхідності їх переміщення. Однак більшість комунальних підприємств вже мають автоматизовані системи управління, а їх додаткова комплектація буде окуплена в термін до 5 років за рахунок зниження витоків та енергоспоживання насосного обладнання.

8. Висновки

Проведеними дослідженнями щодо взаємозв'язку між площею зон з недостатнім напором, що утворюються у водопровідній мережі для різних варіантів її живлення при зміні умов водоспоживання, та кількістю вузлів контролю тиску встановлені критерії для вибору контрольних вузлів. На стадії проєктування водопровідної мережі крім критичної точки слід передбачати додаткові 2-3 контрольних вузла та розташовувати їх на межі можливих зон недостатнього напору, моделювання утворення яких теж слід виконувати на стадії проєктування мережі. При уточненні розташування їх в процесі експлуатації рекомендується влаштовувати їх на межі очікуваної зони недостатнього напору, виходячи з її розміру та тенденції до збільшення.

Запропонована методика управління потекорозподілом в реальному часі дозволяє вибирати місця обладнання контрольних вузлів, уточнювати їх розташування, визначити найбільш несприятливих варіантів живлення на стадії проєктування та виключити їх при розробці реальних систем водопостачання.

Література

1. Добровольська О. Г. Практична реалізація методів з оптимізації потекорозподілу у водопровідних мережах [Текст] / О. Г. Добровольська, М.О.

Українець // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 6/4 (20). – С. 4-7. doi:[10.15587/2312-8372.2014.32817](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.32817)

2. Bekirova, L. Validation of an integrated control system with improvement in efficiency and reliability of the decisions made for monitoring [Text] / L. Bekirova. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017 – V.5. N. 9(89)–P. 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111220>

3. Budanov, P. Improving the reliability of information control systems at power generation facilities based on the fracta cluster theory [Text] / P. Budanov, K. Brovko, A. Cherniuk, P. Vasyuchenko, V. Khomenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018 – Vol.2 N 9(92) – P. 4–12. doi: [10.15587/1729-4061.2018.126427](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126427)

4. Добровольська О.Г. Розробка даних для контролю поточного розподілу в реальному часі / О. Г. Добровольська // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 4/1 (18). – С. 8-12.

5. Гіроль М. М., Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води [Електронний ресурс] / М.М. Гіроль, А.М. Гіроль, В.Є. Хомко, Д. Ковальський // Журнал «полимерные трубы - Украина Режим доступа: URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovodnuhmerezukraini>

6 ДБН В.2.5 - 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.

8. Ткачук О. А. Удосконалення систем подачі і розподілення води населених пунктів [Текст] / О. А. Ткачук. – Рівне: НУВГП, 2008. – 301с.

9. Пат. Україна, МПК F 17 D 5/02. Спосіб діагностики зон витоків з водопровідних мереж / Добровольська О. Г., Українець М. О., Сокольник В. І.; заявник і власник Запор. держ. інж. академія. – №u2013 06473; заявл. 24.05.2013; опубл. 25.02.2014, бюл. № 4.

10. Mychuda, L. Development of algorithms for improving the accuracy and performance speed of a functional analog-to-digital converter [Text] / L. Mychuda // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. –V. 3. – N. 9(93). – P.58–69. doi: [10.15587/1729-4061.2018.132479](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132479)

11. Minaychev, A. Development of the method of distribution of memory in nonstationary loaded information processing systems [Text] / A. Minaychev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. –V.1. – N. 9(91). – P. 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123257>

12. Kotsuibivska K. Images compression by using cubic spline-functions methods [Text] / K. Kotsuibivska, O. Chaikovska, M. Tolmach // Technology Audit and Production Reserves . 2018. –V. 3. – N. 2(41). – P. 4–10. doi: [10.15587/2312-8372.2018.134978](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.134978)

13. Kwietniewski M. The problem of the location of measurement points in monitoring systems of water supply systems [Text] / M. Kwietniewski , D. Kowalski // Gaz, Woda and Sanitary Technique. 2009. – N.6. – P.24–29 .
 14. Mierzwa A. Scope of implementation of Integrated Technical Infrastructure Management Systems (ZSZIT) in medium-sized waterworks and sewage systems [Text] / A. Mierzwa, A. Musz, A. Zygmuntowicz, B.Kowalska, D. Kowalski, J.Chudzicki, K. Miszta-Kruk, M Kwietniewski. // Gaz, Woda and Sanitary Technique. 2015. – N. 06 / LXXXIX . – P.25–30.
 15. Malesińska A. Wodnik - innowacyjny system do wykrywania wycieków oraz optymalnego sterowania w sieciach wodociągowych, oparty na zdalnie przesyłanych danych pomiarowych – wyniki badań [Text] / A. Malesińska, D. Sala, J.Chudzicki, J. Klimkowski, K. Miszta-Kruk, M. Kwietniewski, P. Kołakowski // Gas, Water and Sanitary Technique. 2015. – N. 06 / LXXXIX . – P.30–35.
 16. Kowalska B. Evaluation of the reliability of the selected water supply station based on the readiness indicator [Text] / B. Kowalska, D. Kowalski, E. Kuzioła, E. Hołota, K. Wiśniewska // Gas, Water and Sanitary Technique. 2017. –N. 11/91. – P.42–46.
 17. Kwietniewski M.. Technologie odnowy komunalnych sieci wodociągowych w polsce w latach 2000 - 2005 w świetle danych z eksploatacji [Text] / M. Kwietniewski, K . Miszta-Kruk, A.Osiecka, J. Parada // XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę , jakości ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland . 2008. – P. 177 – 186.
 18. Wargin A.,. Skucha M. Influence of sulphate reducing bacteria on water quality in water network [Text] / A. Wargin,. M. Skucha // XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland. 2008. – P. 131–136.
 19. Pietryja C. Poprawa jakości wody do picia poprzez stosowanie nowoczesnej metody regeneracji sieci wodociągowej przy pomocy wklejanego rękawa - process phoenix [Text] / C.Pietryja // XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę , jakość i ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland. 2008. P. – 197–206.
 20. Jachimowsk A. Application of the sensory analysis method in the assessment of water quality [Text] / A. Jachimowski, P.Turek // Gaz, Woda i Technika Sanitarna. 2018. – N.04 / 92. – P.40–45.
 21. Kowalska B., Kuzioła E., Teper M. Analysis of water quality in a selected part of the municipal water supply network [Text] / B. Kowalska, E.Kuzioła, M.Teper // Gas, Water and Sanitary Technique. 2018. –N.05 / 92. – P. 9–14.
 22. Stachura M. Planning of a water distribution network sensors location for a leakage isolation [Text] / M. Stachura, B. Fajdek // Proceedings of the 28th Envirolnfo Conference in 10-12 September.– Germany, 2014. – P.1-8.
-

References

1. Dobrovolskaya O., Ukrainets M. (2014). Practical realization of methods for optimization of flow distribution in water supply networks . Technological Audit and Production Reserves, 6/4(6/4 (20)), 4–7. doi:[10.15587/2312-8372.2014.32817](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.32817)
 2. Bekirova, L. (2017). Validation of an integrated control system with improvement in efficiency and reliability of the decisions made for monitoring . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5, (9 (89)), 4–11. doi: [10.15587/1729-4061.2017.111220](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111220)
 3. Budanov, P.(2018). Improving the reliability of information control systems at power generation facilities based on the fracta cluster theory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 4–12. doi: [10.15587/1729-4061.2018.126427](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126427)
 4. Dobrovolskaya O.(2014). Data development to control the flow distribution in real time. Technological Audit and Production Reserves, 4/1 (4/1 (18)), 8–12.
 5. Hirol M., Gyrol A., Khomko E, Kovalsky D. (2013). Condition of Ukrainian water supply networks and ways to prevent deterioration of drinking water quality. Journal of polymeric pipes. Ukraine. Available at: URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovodnyhmerezhuukraini>
 6. DBN V.2.5 – 74(2013). Vodopostachannya. Zovnishni merezhi ta sporudy`. Osnovni polozhennya proektuvannya.(2013). Approved by the order of the Ministry of Regional Development of Ukraine from 28.08.2013 No.140. Introduced: 01.01.2014. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 172.
 8. Tkachuk O. (2008). Udoskonalennya sy`stem podachi i rozpodilennya vody` naseleny`x punktiv. Rivne: NUVN, 301.
 9. Dobrovolskaya O. G.(25.02.2014) Sposib diagnosty`ky` zon vy`tokiv z vodoprovodny`x merezh. Patent No.115760 C2 UA, MPK F17D5/02. Appl. No. u2013 06473. Filed: 24.05.2013.Bull. No.4.
 10. Mychuda, L. (2018). Development of algorithms for improving the accuracy and performance speed of a functional analog-to-digital converter. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9(93)), 58–69. doi: [10.15587/1729-4061.2018.132479](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132479)
 11. Minaychev, A. (2018). Development of the method of distribution of memory in nonstationary loaded information processing systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9(91)), 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123257>
 12. Kotsuibivska K., Chaikovska O., Tolmach M. (2018). Images compression by using cubic spline-functions methods. Technology Audit and Production Reserves, 3(2(41)), 4–10. doi: [10.15587/2312-8372.2018.134978](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.134978)
 13. Kwietniewski M., Kowalski D. (2009). The problem of the location of measurement points in monitoring systems of water supply systems. Gaz, Woda and Sanitary Technique, 6, 24–29 .
-

14. Mierzwa A., Musz A., Zygmuntowicz A., Kowalska B., Kowalski D. Chudzicki J., Miszta-Kruk K., Kwietniewski M.(2015). Scope of implementation of Integrated Technical Infrastructure Management Systems (ZSZIT) in medium-sized waterworks and sewage systems. *Gaz, Woda and Sanitary Technique*, 06 (LXXXIX), 25–30.
15. Malesińska A., Sala D., Chudzicki J. Klimkowski J., Miszta-Kruk K., Kwietniewski M., Kołakowski P. (2015). Aquarius - an innovative system for leak detection and optimal control in water supply networks, based on remotely sent measurement data - test results. *Gas, Water and Sanitary Technique*, 06(LXXXIX), 30–35.
16. Kowalska B., Kowalski D., Kuzioła E., Hołota E., Wiśniewska K. (2017). Evaluation of the reliability of the selected water supply station based on the readiness indicator . *Gas, Water and Sanitary Technique*, 11/91, 42–46.
17. Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Osiecka A., Parada J.(2008). Technologie odnowy komunalnych sieci wodociagowych w polsce w latach 2000 - 2005 w świetle danych z eksploatacji. XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna. „Zaopatrzenie w wodę , jakości ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland , 177 – 186.
18. Wargin A., Skucha M.(2008). Influence of sulphate reducing bacteria on water quality in water network. XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę , jakość i ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland, 131–136.
19. Pietryja C.(2008). Poprawa jakości wody do picia poprzez stosowanie nowoczesnej metody regeneracji sieci wodociagowej przy pomocy wklejanego rękawa - process phoenix® // XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę , jakość i ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland, 197–206.
20. Jachimowsk A., Paweł Turek P. (2018). Application of the sensory analysis method in the assessment of water quality. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* , 04 / 92, 40–45.
21. Kowalska B., Kuzioła E., Teper M. (2018). Analysis of water quality in a selected part of the municipal water supply network. *Gas, Water and Sanitary Technique.*, 05 / 92, 9–14.
22. Stachura M. (2014). Planning of a water distribution network sensors location for a leakage isolation. *Proceedings of the 28th EnviroInfo Conference in 10-12 September, Germany, 2014.* – P.1-8.

One of the most problematic places is the lack of knowledge of the methodology of location of control nodes at the design stage of networks, taking into account the conditions of its supply and hydraulic characteristics of the work during the operation, in particular, when changing the design parameters of the sites. This is

necessary to significantly reduce the energy consumption of pumping equipment, preventing significant leakage.

At carrying out of researches the complex approach to the decision of the set tasks was used, which includes methods of mathematical statistics, the analysis of experience of domestic and foreign experts and synthesis of results. Methods of mathematical modeling of flow distribution, methods of hydraulic calculations of water supply networks were also applied.

The effective methods of choosing the number and location of control units, taking into account the hydraulic characteristics of the networks and the conditions of their power at the design stage and at operation of the water supply networks, are substantiated for the significant reduction of energy consumption of pumping stations and losses of water at leakage. A minimum number of control nodes has been identified and justified recommendations for determining the locations of their equipment.

Key words: *water supply network, flow distribution, optimization of control, insufficient pressure zone.*

Добровольская Оксана Григорьевна

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра водоснабжения и водоотведения

Запорожская государственная инженерная академия

проспект Соборный, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

E-mail: dogoks@gmail.com

Контактный тел. -063-73-284-63,

Количество публикаций в общегосударственных базах данных 23

Количество публикаций в международных базах данных 2

Номер ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>

Добровольська Оксана Григорівна

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра водопостачання та водовідведення

Запорізька державна інженерна академія

проспект Соборний, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006

E-mail: dogoks@gmail.com

Контактний тел. -063-73-28-463,

Кількість публікацій в загальнодержавних базах даних 23

Кількість публікацій в міжнародних базах даних -2

Номер ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>

Dobrovol'skaya Oksana

PhD, Associate Professor

Department of water supply and sanitation

Zaporozhye State Engineering Academy

pr.Cathedral, 226 Zaporozhye, Ukraine, 69006
E-mail: dogoks@gmail.com
Contact tel. -063-73-284-63,
The number of articles in national databases –23
The number of articles in international databases –2
Number ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1337-7216>

Поштова адреса для відправки журналу:

Добровольська Оксана Григорівна

Відділення Нової пошти № 3 (м. Запоріжжя, вул. Айвазовського, 9)

Конт. тел.: +38063 - 73-28-463