

УДК 628.11

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.051125.140.1201

ВИБІР СХЕМИ ДОДАТКОВОГО ЖИВЛЕННЯ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

ШАРКОВ В. В.¹, канд. техн. наук, доц.,
НЕСТЕРОВА О. В.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
НАГОРНА О. К.³, канд. техн. наук, доц.,
НЕЧИТАЙЛО М. П.⁴, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-74, e-mail: shar_kov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

^{2*} Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-74, e-mail: melenanesterenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1035-6572

³ Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

⁴ Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-74, e-mail: n_np@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

Анотація. *Постановка проблеми.* Надійна робота систем водопостачання характеризується подачею споживачам розрахункової кількості води з підтримкою необхідного тиску в мережах в місцях розбору води. Одною з проблем систем водопостачання, яка виникає після певного періоду експлуатації, є зростання водоспоживання з потребою додаткового живлення мереж. *Мета дослідження.* Додаткові витрати можуть вводитися до мереж одним об'єднаним потоком з повною витратою в основний вузол живлення мережі, окремим потоком в будь-який вузол мережі, чи розподіленими частинами в будь-які вузли. Вибір схеми додаткового живлення потребує визначення необхідності використання нових вузлів живлення, їх розташування та розподілення витрат води з вузлом основного живлення. Критерієм оптимальності вибраної схеми можуть слугувати мінімальні напори, які будуть створюватися насосним обладнанням чи втрати напору на ділянках мереж. *Методика.* Пошук оптимальної схеми додаткового живлення мереж водопостачання оснований на перегляді всіх можливих вузлів введення води до мереж та розподілу величини додаткової витрати води між вузлами живлення. Розгляд кожного варіанту передбачає визначення витрат води та втрат напору на ділянках мереж при відповідних поточкорозподіленнях. *Результати.* Проведений аналіз проблем експлуатації мереж водопостачання з визначенням етапів та інтенсивності наростання потреби їх розширення; розглянуті фактори, які впливають на вибір вузлів додаткового живлення кільцевих мереж водопостачання з забезпеченням оптимальних розподілів потоків та витрат води на ділянках; досліджені гідравлічні характеристики ділянок мереж при змінах витрат води та поточкорозподілення; проаналізовані варіанти поточкорозподілення в мережах з різною кількістю ділянок; розглянутий алгоритм визначення оптимальних вузлів кільцевих мереж для під'єднання додаткових джерел живлення. *Наукова новизна.* Проведений аналіз факторів, що впливають на вибір схем додаткового живлення мереж, показана необхідність врахування розподілу витрат води між вузлами додаткового живлення, що дозволить експлуатувати мережі з найменшими витратами енергії. *Практична значимість.* Використання результатів аналізу дозволяють найбільш оперативно та ефективно вирішувати питання вибору варіанту додаткового живлення водопровідних мереж.

Ключові слова: водопостачання; додаткове живлення мереж

SELECTION OF ADDITIONAL POWER SUPPLY SCHEME FOR WATER NETWORKS

SHARKOV V.V.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
NESTEROVA O.V.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
NAHORNA O.K.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
NECHYTAILO M.P.⁴, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

¹ Department of Water Supply, Wastewater Engineering and Hydraulics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: shar_kov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8942-3701

^{2*} Department of Water Supply, Wastewater Engineering and Hydraulics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: melenanesterenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1035-6572

³ Department of Water Supply, Wastewater Engineering and Hydraulics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: nahorna.olena@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-4027-9336

⁴ Department of Water Supply, Wastewater Engineering and Hydraulics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-74, e-mail: n_np@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-5963-0590

Abstract. Problem statement. The reliable operation of water supply systems is characterized by the delivery of the design amount of water to consumers while maintaining the required pressure at water draw-off points. One of the common issues in water supply networks that arises after a certain period of operation is the increase in water consumption, which leads to the need for additional supply to the network. **Purpose of the study.** Additional flow volumes may be introduced into the network either as a single combined stream with the full volume routed to the main supply node, as a separate flow to any node, or as distributed portions across multiple nodes. The choice of a supplementary supply scheme requires determining whether new supply nodes should be used, their optimal placement, and how to distribute flow between them and the main supply node. Optimization criteria may include minimizing the pressure generated by pumping equipment or minimizing head losses along network sections. **Methodology.** The search for an optimal scheme of additional network supply is based on the assessment of all possible locations for water input and the distribution of additional water flow between these supply nodes. Each option involves the determination of water flow rates and head losses across network sections under corresponding flow distribution scenarios. **Results.** The study includes an analysis of operational challenges in water supply networks, identification of stages and intensity of increasing demand for system expansion, and examination of factors influencing the selection of supplementary supply nodes in ring-type water supply networks. It ensures optimal flow and consumption distribution across network sections. The hydraulic characteristics of network segments under varying flow rates and distributions were studied, and different distribution variants in networks with various numbers of segments were analyzed. Additionally, an algorithm for determining optimal nodes for connecting supplementary water sources in ring networks was considered. **Scientific novelty.** The study analyzes key factors affecting the selection of supplementary supply schemes, demonstrating the importance of accounting for the distribution of water flow among supply nodes to enable energy-efficient operation of the system. **Practical value.** The results of the analysis allow for faster and more effective decision-making in the selection of supplementary supply schemes for water distribution networks.

Keywords: water supply; additional power supply networks

Постановка проблеми. Надійна робота систем водопостачання характеризується подачею споживачам розрахункової кількості води з підтримкою необхідного тиску в мережах в місцях розбору води.

Одною з проблем систем водопостачання, яка виникає після певного періоду експлуатації, є зростання водоспоживання з потребою додаткового живлення мереж. Таке зростання, без певних компенсаційних заходів, призводить до збільшення проблем експлуатації систем – знижуються напори та спостерігається недодача води в віддалених районах мереж [1].

На початкових етапах виникнення таких проблем, тимчасовим рішенням є збільшення потужності насосного обладнання та збільшення діаметрів деяких ділянок мереж.

В гірших випадках проблема може перекластися на споживачів – подача води за графіками.

Якщо дефіцит води не подоланий, проблему вирішують більш складними та коштовними методами – будують нові споруди чи розширюють існуючі, замінюють обладнання та графіки їх роботи, ведуть пошук нових джерел водопостачання з вирішенням питань потрібної якості води.

При проектуванні нових систем водопостачання чи їх окремих об'єктів проблема можливого розширення розглядається та враховується. Нові системи водопостачання розраховуються на певне заплановане зростання водоспоживання. При цьому, призначаються економічно обгрунтовані попередні терміни роботи

проектних водопроводів до їх розширення або корінних реконструкцій.

Після пуску в експлуатацію запроектованих систем водопостачання потужності встановлених насосів, ємності резервуарів, пропускна здатність водопроводів і мереж перевищують ті, які потрібні для подачі запланованих кількостей води на кінець прийнятого розрахункового терміну. В цей період системи працюють з деяким недовантаженням і витрачають меншу кількість енергії на підйом води.

У міру зростання водоспоживання зменшується розрив між витратами води, які фактично витрачаються і запланованими.

До моменту, коли ці величини стануть рівними, повинні бути готові до пуску в експлуатацію споруди наступної черги розвитку водопроводу.

В деяких випадках, кількість води, яка буде додатково вводитися до мереж критично не велика, і є можливість забезпечити додаткове живлення невеликим водозабором (свердловиною чи груповим водозабором з кількох колодязів). В такому випадку потреби в підготовці води може і не бути, якщо якість води водоносного горизонту задовільної якості, а мережа водопостачання може обійтися без конструктивних змін (діаметри ділянок мережі не змінюються, додаткові ділянки не прокладаються).

Додаткове джерело живлення може розташовуватися на майданчику існуючого водозабору і розглядатися, як його нова частина (розширення водозабору), а може бути окремою спорудою з розташуванням в будь-якому місці і приєднуватися до мережі водопостачання в вузлах, відмінних від основного вузлу живлення [2].

Так, як якість води нових водозабірних потужностей не потребує обробки для використання, то (при всіх інших подібностях чи різницях) для їх введення до мереж потрібне суміщення напірних характеристик додаткових витрат в вузлі їх приєднання та характеристик існуючого насосного обладнання.

Мета дослідження. Додаткові витрати можуть вводитися до мереж одним

об'єднаним потоком з повною витратою в основний вузол живлення мережі, окремим потоком в будь-який вузол мережі, чи розподіленими частинами в основний вузол та новий [3].

Вибір схеми додаткового живлення потребує визначення необхідності використання нових вузлів живлення, їх розташування та розподілення витрат води з вузлом основного живлення. Критерієм оптимальності вибраної схеми можуть слугувати мінімальні напори насосного обладнання чи втрати напорі на ділянках мереж.

Пошук оптимальної схеми додаткового живлення мереж водопостачання оснований на перегляді всіх можливих вузлів введення води до мереж та розподілу величини додаткової витрати води між вузлами живлення. Розгляд кожного варіанту передбачає визначення витрат води та втрат напорі на ділянках мереж при відповідних потокорозподіленнях.

Методика. Ділянки мереж, які виходять з вузлів основного живлення – трубопроводи з найбільшою пропускною спроможністю, мають найбільші діаметри та, на відміну від інших ділянок, можуть пропускати додаткові витрати води без критичного збільшення втрат напорі [4]. Тому, першими, на можливість введення додаткових витрат води, повинні аналізуватися вузли основного живлення мереж.

Після цього розглядається питання збільшення живлення мережі введенням додаткових витрат води в інші вузли.

Розподіл додаткових витрат води між вузлами введення впливає на кількість можливих варіантів потокорозподілення, кількість яких диктується кількістю ділянок мереж та деякими обмеженнями їх участі в нових варіантах.

Ділянки, які виходять з вузлів основного живлення, незалежно від розподілу витрат, повинні мати тільки незмінні напрямки руху води, які відповідають початковому потокорозподіленню.

Крім того, додаткове живлення мереж не повинно децентралізувати систему водопостачання, коли введення води до

деяких вузлів призведе до відокремлення районів мереж. При цьому можуть з'явитися нові точки сходження потоків. Такі варіанти поточкорозподілення розглядатися не повинні.

Аналіз однокільцевих мереж (магістральні трубопроводи систем розподілення води), з врахуванням вказаних умов появи можливих варіантів поточкорозподілень, дозволив визначити їх кількість (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість варіантів поточкорозподілення

Кількість ділянок кільцевої мережі	Кількість варіантів поточкорозподілення
3	2
4	3
5	4
6	5
7	6
n	n-1

Кількості варіантів поточкорозподілень відповідає кількість необхідних однотипних гідравлічних розрахунків мереж, які і визначають реальні витрати води та втрати напору по ділянках мереж. Однотипні розрахунки мають однаковий склад ділянок мережі, які складають розрахункові півкільця, за рівністю втрат напору в яких, судять про завершення розрахунку. Участь вузлів мереж, які розглядаються, як додаткові джерела живлення, тип гідравлічного розрахунку не змінюють – змінюються лише витрати води на ділянках.

Введення до мереж додаткових витрат води обмежується пропускнуою спроможністю існуючих трубопроводів. Необгрунтоване збільшення витрат буде супроводжуватися критичним збільшенням втрат напору. Тому, величини додаткових витрат води повинні обмежуватися технічними можливостями мережі.

Для визначення оптимальної схеми додаткового живлення була розглянута однокільцева водопровідна мережа з п'ятьма ділянками. Для зручності аналізу довжини ділянок та вузлові витрати прийняті

однаковими. Діаметри ділянок мереж підбиралися з економічним фактором 0,75.

Аналіз мережі проводився при введенні додаткових витрат води з кроком 4 л/с, що збільшувало витрату на 10 % від розрахункового значення 40 л/с.

На рисунку представлена розрахункова схема мережі з одним з варіантів поточкорозподілення та розподілом витрат між вузлами введення т. 1 – 92 л/с та т. 5 – 24 л/с.

Збільшуючи живлення мережі тільки через вузол т. 1, витрати води досягли 94 л/с. Більші величини викликали високі напори насосів, які, з урахуванням мінімальних значень потрібних вузлових напорів, перевищували граничні напірні умови дослідження (45 м. в. ст.).

Подальше збільшення додаткового живлення мережі стало можливим при одночасному використанні інших вузлів в якості точок введення води.

Для оцінки енергоємності варіантів поточкорозподілень та розподілу витрат між двома вузлами введення води до мережі, виявилось зручним використання категорії «умовна енергія», (л/с)/м, – характеристики одночасної роботи насосного обладнання у вузлах введення води.

В таблиці 2 наведені результати визначення величин умовної енергії, яка витрачається на підйом води насосами, при економічному розподілі витрат води між вузлами введення води в мережу

Аналіз даних таблиці 2 свідчить, що використання вузлу т. 1, в якості єдиного вузлу введення збільшених витрат води в мережу, є доцільним лише в діапазоні витрат 72–88 л/с. При інших витратах вигідно використовувати два вузли введення з розподілом води між ними в різних пропорціях. Так, при витраті мережею 68 л/с найбільш ефективна схема – використання вузлів т. 1 та т. 5 одночасно для введенні води з розподілом витрат між ними 40/28, відповідно. При цьому умовна енергія, яку будуть витрачати насоси в двох вузлах складе 936,6 (л/с)•м.

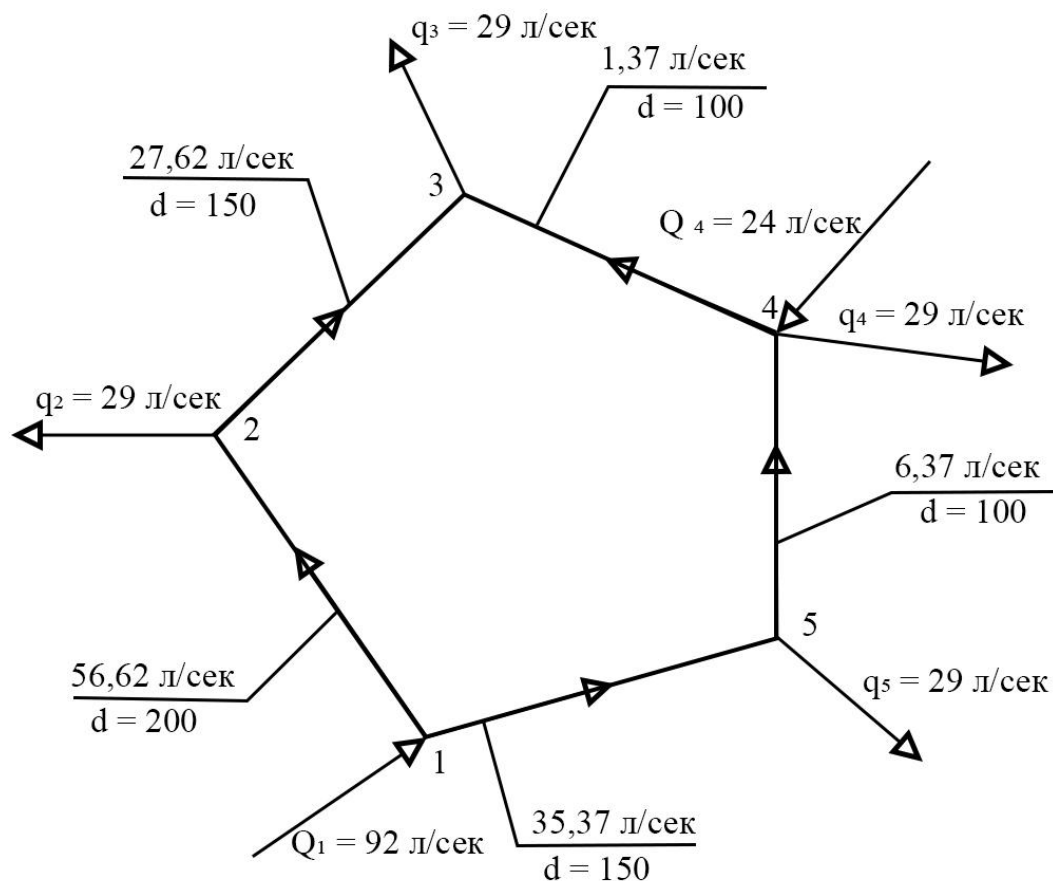


Рис. Потокорозподілення та витрати води по ділянках мережі

Таблиця 2

Кількість варіантів потокорозподілення

Сумарна витрата води мережею, л/с	Надходження води тільки до т. 1	Додаткове надходження води до т. 2	Додаткове надходження води до т. 3	Додаткове надходження води до т. 4	Додаткове надходження води до т. 5
	Витрата, л/с Умовна енергія, (л/с)/м	Витрата, л/с Умовна енергія, (л/с)/м	Витрата, л/с Умовна енергія, (л/сек)/м	Витрата, л/с Умовна енергія, (л/с)/м	Витрата, л/с Умовна енергія, (л/с)/м
44				4 / 217,2	
48				8 / 184	
52				12 / 180,8	
56				16 / 175,28	
60			20 / 521,2		
64			24 / 623,5		
68					28 / 936,6
72	72 / 1560,2				
76	76 / 1834,6				
80	80 / 2140,1				
84	84 / 2478,2				
88	88 / 2858,6				
92			36 / 1845,6		
96			32 / 2137,9		
100			40 / 2366,2		
104				12 / 2494,1	
108				16 / 2317,4	
112				20 / 2189,6	
116				24 / 2211,8	
120				28 / 2632,2	
124				32 / 3008,6	

Більшість результатів, з розподілом додаткових витрат води між вузлами мережі, з найменшими витратами умовної енергії спостерігається при використанні вузлів т. 1 та т. 4. Але, в діапазоні сумарних витрат води 60–100 л/с, найкращі результати дають інші варіанти використання вузлів мережі, як точок її живлення. В цьому діапазоні кількість найкращих варіантів розділилася порівну між схемами використання вузлів т. 1 та т. 3 одночасно та вузлу т. 1, як одного джерела живлення мережі. Лише один варіант використання схеми вузлів т. 1 та т. 5 виявився найкращим при розподілі витрат 40 та 28 л/с між ними. Варіант з використанням вузлів т. 1 та т. 2 жодного разу не показав найкращих результатів.

Висновки

1. Результати досліджень свідчать, що рішення проблеми введення додаткових витрат води до мереж водопостачання потребує аналізу всіх варіантів поточкорозподілення.

2. Показано, що існують варіанти схем додаткового живлення мереж водопостачання без внесення конструктивних змін в системи подачі та розподілення води.

3. При визначеній величині витрати води мережами з'являється можливість вибирати схему розподілу витрат між вузлами введення, що дозволить, в подальшому, експлуатувати мережі з найменшими витратами енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петімко П. І., Прокопчук І. Т., Царик М. Ф. Налагодження роботи систем водопостачання. Київ : Врожай, 1995. 256 с.
2. Тугай А. М., Тугай Я. А. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди : посіб. Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу, 1998. 196 с.
3. Шарков В. В., Нестерова О. В., Журавльова О. А., Жефруа Д. В. Пошук точок приєднання додаткових джерел живлення систем водопостачання. *Український журнал будівництва та архітектури*. № 3. 2021. С. 116–122.
4. Тугай А. М., Терновцев В. О., Тугай Я. А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2001. 256 с.

REFERENCES

1. Petimko P.I., Prokopchuk I.T. and Tsaryk M.F. *Nalahodzhennia roboty system vodopostachannia* [Setting up water supply systems]. Kyiv : Vrozhai Publ., 1995, 256 p. (in Ukrainian).
2. Tuhai A.M. and Tuhai Ya.A. *Vodopostachannia. Dzherela ta vodozabirni sporudy : posibnyk* [Water supply. Sources and water intake structures : manual]. *Ukrainsko-finskyi instytut menedzhmentu i biznesu* [Ukrainian-Finnish Institute of Management and Business]. 1998, 196 p. (in Ukrainian).
3. Sharkov V.V., Nesterova O.V., Zhuravlova O.A. and Zhefrua D.V. *Poshuk tochok pryiednannia dodatkovykh dzherel zhyvlennia system vodopostachannia* [Search for connection points for additional power sources for water supply systems]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, no. 3, pp. 116–122. (in Ukrainian).
4. Tuhai A.M., Ternovtsev V.O. and Tuhai Ya.A. *Rozrakhunok i proektuvannia sporud system vodopostachannia : navch. posib.* [Calculation and design of water supply system structures : textbook]. Kyiv : KNUBA, 2001, 256 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 30.08.2025.