УДК 628.14 **DOI 10.33042/2522-1809-2023-1-175-99-104**

В.Г. Новохатній, О.В. Матяш, І.С. Усенко

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна

ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ПОЛІПШЕННЯ ТОПОЛОГІЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Виконано порівняння роботи діючої системи водопостачання міста Кременчук Полтавської області, а саме – подавально-розподільного комплексу (ПРК), що включає магістральну водопровідну мережу і насосну станцію 2-го підняття, з ПРК, у якому поліпшено топологічну структуру шляхом уведення додаткової ділянки мережі. При цьому зменшився гідравлічний опір водопровідної мережі та збільшилась її пропускна спроможність, що призвело до зменшення напору насосів на насосній станції 2-го підняття на 6,95 м. При середньогодинній подачі води 0,7425 м^3/с економія електроенергії за годину становить близько 51,6 кВт·год, а за добу 1238 кВт·год.

***Ключові слова**: система водопостачання, подавально-розподільний комплекс, водопровідна мережа, топологія, економія електроенергії.*

Постановка проблеми

Сучасні системи централізованого водопостачання міст – це складні системи, які включають 3 основні комплекси: водозабірний, водоочисний і подавально-розподільний. До кожного з цих комплексів висуваються різні вимоги щодо їх надійного функціонування. З іншої сторони, питання економічності відіграють не менш важливу роль. Подавально-розподільний комплекс, який включає водопровідні насосні станції та водопровідну мережу, є основним споживачем електроенергії. Адже всі насосні агрегати на водопровідних насосних станціях різного призначення обладнані електричними двигунами. Слід зазначити, що на сьогодні на насосних станціях 1-го та 2-го підняття, а також підвищувальних насосних станціях (ПНС) широко застосовують тиристорні перетворювачі частоти струму (ТПЧС), що дають змогу суттєво економити електроенергію, а також підвищувати надійність функціонування насосних станцій.

З іншої сторони, у процесі експлуатації ПРК постійно виникають задачі ремонтів або заміни труб окремих ділянок водопровідної мережі. При цьому використовують сучасну водопровідну арматуру і труби, зазвичай, з полімерних матеріалів. Проте, менше уваги фахівці з водопостачання звертають на топологічну структуру мережі. Необхідність поліпшення структури мережі чітко прослідкується після виконання гідравлічних розрахунків і побудови п’єзометричних карт. У даній статті показано, як можна при незначних капітальних вкладеннях суттєво поліпшити структуру водопровідної мережі міста і отримати економію електроенергії за рахунок зниження гідравлічного опору мережі.

Аналіз останніх досліджень

Ефективність роботи подавально-розподільного комплексу систем водопостачання була і залишається постійно у полі зору українських науковців та фахівців з експлуатації систем водопостачання – від класичних робіт [1-4] до сьогодення [5-11]. Зрозуміло, що ці питання не меншою увагою користуються і у закордонних фахівців з водопостачання [12,13]. Особливі проблеми з водопостачання мешканців населених пунктів виникають в умовах воєнного стану, коли маємо агресивну війну від північного сусіда. Тут, на порядок денний, приходить необхідність створення в Україні в населених пунктах, окрім централізованого водопостачання, ще й системи нецентралізованого водопостачання. У такий спосіб суттєво підвищується живучість системи водозабезпечення населення.

Мета статті

Метою даної статті є представлення способу підвищення економічної ефективності подавально-розподільного комплексу системи водопостачання міста за рахунок поліпшення топології водопровідної мережі. Конкретні розрахунки виконані для системи централізованого водопостачання міста Кременчук Полтавської області.

Виклад основного матеріалу

Нових міст і, відповідно, нових великих систем централізованого водопостачання в Україні на

© Лю Чан, Мамонов К.А., Канівець О.М.

сьогодні не будують. Мова може йти тільки про окремі водопровідні споруди (насосні станції, водопровідні очищувальні споруди, резервуари чистої води і т.п.), які будують замість застарілих споруд шляхом реконструкції або розширяють існуючі системи водопостачання зведенням нових споруд, наприклад, свердловин. Що стосується водопровідних мереж, то їх працездатність і пропускну спроможність підтримують шляхом заміни ділянок або доповнення нових ділянок. Зрозуміло, що ті ділянки мережі, труби яких не підлягають ремонту, перекладають новими трубами (зазвичай, пластмасовими). Але окрім цього, потрібно звертати увагу й на топологічну структуру мережі, щоб поліпшити її ефективність функціонування. Мова йде про трасування мереж, тобто накреслення мережі в плані. З точки зору надійності, така мережа повинна бути кільцевою і мати якомога більше зв'язків між вузлами. Але на практиці такий принцип не завжди можна витримати, з огляду на планувальну структуру вулиць міста.

Відомо, що надійність, як властивість об'єкта, має 3 складові частини: безвідмовність, ремонтопридатність і довговічність. Довговічність, зазвичай, забезпечується вибором відповідних матеріалів для труб і споруд ще на стадії проектування. Безвідмовність труб у значній мірі залежить від умов експлуатації та їхніх гідравлічних навантажень. Ремонтопридатність характеризується здатністю матеріалу труб до швидкого відновлення працездатності шляхом ремонту.

Кількісним показником безвідмовності є середнє напрацювання на відмову *T*, год (обернена величина – параметр потоку відмов ω, 1/год) або ймовірність безвідмовної роботи *P(t)* протягом заданого відрізку часу *t*. Кількісним показником ремонтопридатності є середній час відновлення працездатності $T_В$, год. Якщо враховувати одночасно безвідмовність і ремонтопридатність, то використовують комплексний показник – коефіцієнт готовності $K_Г$:

$$K_Г = \frac{T}{T + T_В}, \qquad (1)$$

який характеризує готовність ділянки мережі бути у працездатному стані у довільний момент часу. Приймемо комплексним показником надійності коефіцієнт готовності $K_Г$.

Проф. Новохатній В.Г. у докторській дисертації [5] сформулював принцип підвищення надійності (коефіцієнта $K_Г$) топологічної структури мережі наступним чином:

– підвищення надійності кільцевої мережі шляхом структурного резервування потрібно виконувати введенням нової ділянки тільки між існуючими вузлами;

– введення нового вузла призводить до утворення двох нових послідовних ділянок, що знижує надійність мережі.

З іншої сторони, потрібно також аналізувати гідравлічний режим роботи магістральної водопровідної мережі. Для цього найліпше скористатись п'єзометричною картою, яка графічно представляє гідравлічне навантаження кожної ділянки мережі. Скористаємось п'єзокартою за результатом гідравлічного розрахунку магістральної водопровідної мережі міста Кременчук (рис. 1), для об'єднаної системи водопостачання для лівого і правого берегів Дніпра.

Гідравлічний розрахунок виконано для години максимального водорозбору, які визначались за даними служби обліку і реалізації води КП «Кременчукводоканал» (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Середні добові, годинні та секундні витрати води м. Кременчук

№ з/п	Частина міста	Витрата води, м^3		
		за добу	за годину	за секунду
1	Лівобережна (Автозаводський район)	54961	2290	0,636
2	Правобережна (Крюків)	9189	383	0,106
3	м. Кременчук у цілому	64150	2672	0,742

Таблиця 2

Максимальні секундні витрати води м. Кременчук

№ з/п	Частина міста	$K_{gen\ max}$	Водоспоживання, л/с	
			середнє	максимальне
1	Лівобережна (Автозаводський район)	1,41	636	897
2	Правобережна (Крюків)	1,54	106	164
3	м. Кременчук у цілому	1,4	742	1039

Аналіз п'єзокарти показує, що магістральна водопровідна мережа міста Кременчук має перевантажені ділянки у центральній частині, а саме ділянки: 16-17, 16-19, 19-20, 9-10. Викликано це тим, що основний потік води сприймають 3 ділянки: 19-20, 8-21 і 9-10. Окрім того, топологічна структура

водопровідної мережі у цій частині міста недосконала. Найліпшим рішенням у цьому випадку є уведення нової ділянки 17-20, яка поєднає існуючі вузли № 17 і № 20 водопровідної мережі та поліпшить її топологію.

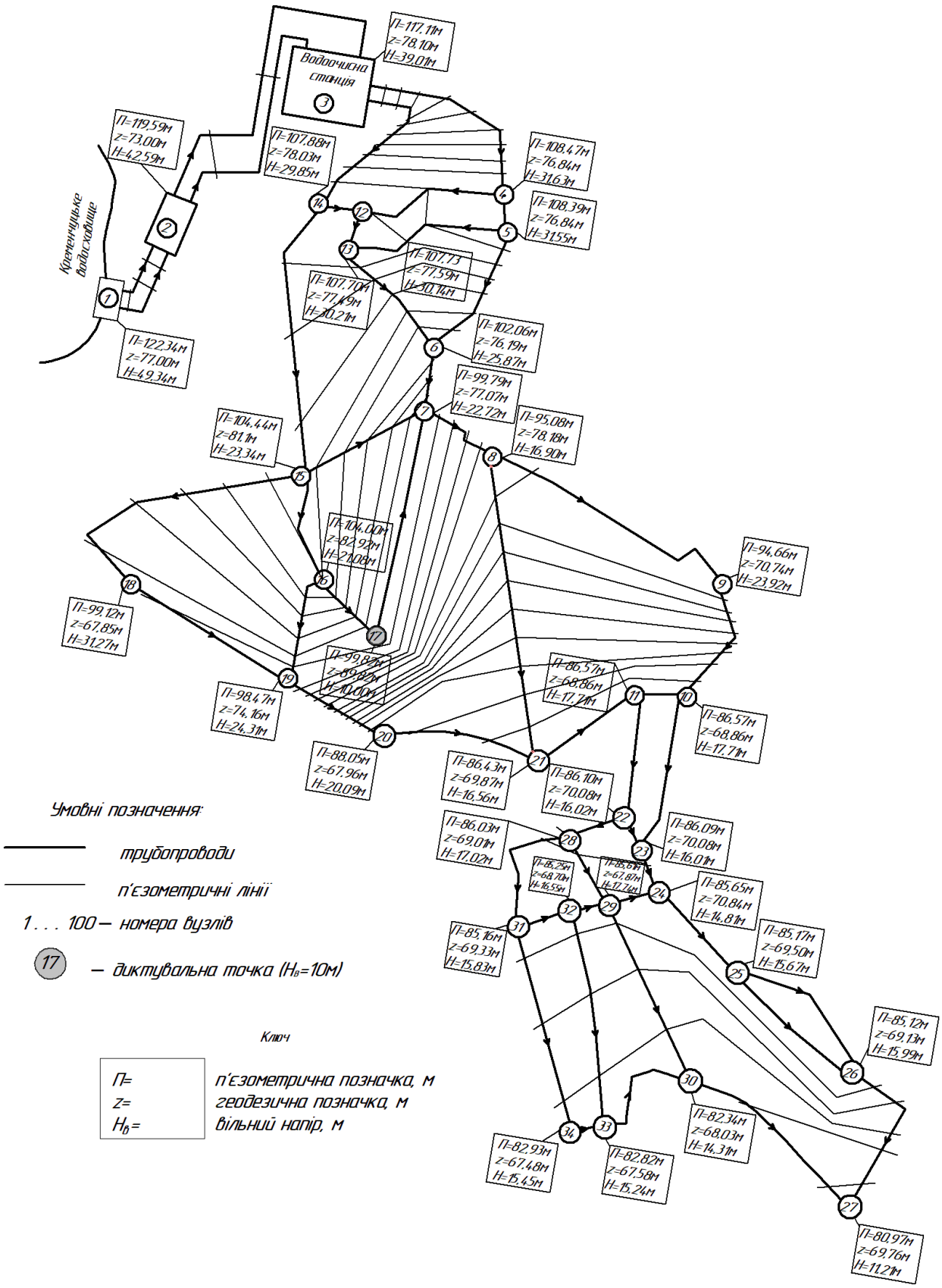

Рис. 1 П'єзокарта для періоду максимального водорозбору об'єднаної системи водопостачання

У результаті буде одночасно вирішено 2 задачі:

а) поліпшиться топологічна структура водопровідної мережі що підвищить її надійність;

б) знизяться втрати напору на ділянках 16-17, 16-19, 19-20, 9-10, що приведе до зменшення напору на насосній станції 2-го підняття.

Після проведеного нового гідравлічного розрахунку реконструйованої магістральної водопровідної мережі міста Кременчук була побудована нова п’єзокарта для періоду максимального водорозбору (рис. 2).

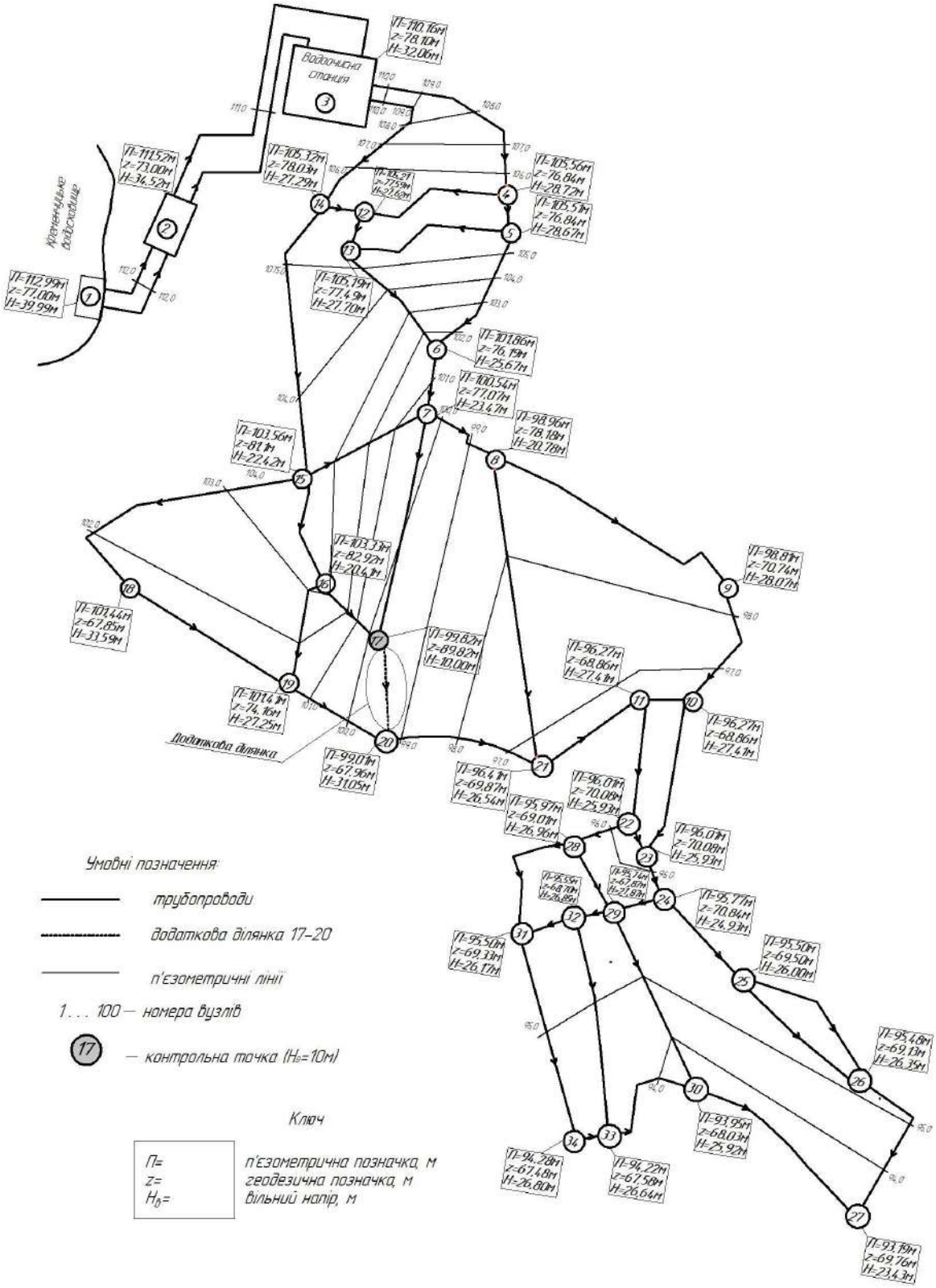

Рис. 2. П’єзокарта для періоду максимального водорозбору об’єднаної системи міста Кременчук після реконструкції

У результаті гідравлічного розрахунку встановлено, що напір насосної станції 2-го підняття зменшився на $\Delta H = 6,95\ м$. При середньогодинній подачі води 0,7425 м^3/с, зменшення споживаної потужності насосною станцією 2-го підняття ΔN становить

$$\Delta N = 10Q\Delta H = 10 \cdot 0,7425 \cdot 6,95 = 51,6 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Добова економія електроенергії на насосній станції 2-го підняття становить

$$\Delta E = 24\Delta N = 24 \cdot 51,6 = 1238 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (3)$$

При вартості електроенергії 6 грн за 1 кВт·год добова економія коштів складає

$$\Delta A_{доб} = 1238 \cdot 6 = 7428\ грн. \quad (4)$$

Річна економія коштів становить

$$\Delta A_{рік} = 7428 \cdot 365 = 2,71\ млн.\ грн.. \quad (5)$$

Дана пропозиція є перед проектним рішенням, а тому для прийняття остаточного рішення потрібно визначити:

– чи існує фізична можливість прокладання нової ділянки водопровідної мережі в умовах існуючої забудови міста у цьому районі;

– який матеріал труб потрібно використати при прокладанні даної ділянки.

Висновки

1. Графічне представлення гідравлічних розрахунків магістральної водопровідної мережі за допомогою п’єзокарт дозволяє:

– виявити перевантажні ділянки мережі;

– розробити шляхи усунення такого перевантаження;

– поліпшити топологічну структуру мережі з метою підвищення її надійності.

2. При поліпшенні топологічної структури кільцевої мережі потрібно користуватись принципом проф.Новохатнього, а саме – нові ділянки потрібно вводити так, щоб вони поєднували існуючі вузли діючої мережі. У такий спосіб збільшується кількість працездатних станів мережі за рахунок підвищення кількості паралельно включених ділянок, що і збільшує її надійність.

3. Гідравлічні розрахунки реконструйованої водопровідної мережі міста Кременчук показали, що за рахунок удосконалення топологічної структури мережі (прокладання додаткової ділянки) річна економія електроенергії становить близько 452 тис. кВт·год, що відповідає економії коштів близько 2,7 млн. грн на рік (при вартості електроенергії 6 грн за 1 кВт·год).

Література

1. *Белозоров Н.П. Расчёт систем водоснабжения с применением вычислительной техники. [Текст] / Н.П. Белозоров, М.В. Луговской — М. : Колос, 1973. – 248 с.*
2. *Белан А.Е. Проектирование и расчёт устройств водоснабжения. [Текст] / А.Е. Белан, П.Д. Хоружий — К. : Будівельник, 1981. – 192 с.*
3. *Хоружий П.Д. Водопровідні системи і споруди. [Текст] / П.Д. Хоружий, О.А. Ткачук – К. : Вища школа, 1993. – 262 с.*
4. *Українець М.О. Водопровідні мережі (теорія і проектування). [Текст] / М.О. Українець – Запоріжжя: ЗДІА, 2002. – 186 с.*
5. *Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання [Текст] : дис. докт. техн. наук: 05.23.04 / В.Г. Новохатній - Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 351 с. (Національна бібліотека України ім. Вернадського (ДС 131058)).*
6. *Матяш О.В. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж [Текст] : дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / О.В. Матяш - Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 225 с.*
7. *Хомутецька Т.П. Енергоощадне водопостачання. [Текст] / Т.П. Хомутецька. - К.: Аграрна наука, 2016. – 304 с.*
8. *Новохатній В.Г. Надійність водопостачання малих населених пунктів. [Текст] / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко, О.В. Матяш – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 103 с.*
9. *Ткачук О.А. Визначення показників функціональної надійності споруд водопостачання. [Текст] / О.А. Ткачук, А.Ю. Шевчук // Наук. вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Том. 97, № 3. Харків: ХНУБА, 2019. С. 126-134.*
10. *Хомутецька Т.П. Розвиток наукових і практичних засад енергоощадженого водопостачання з підземних джерел [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.23.04 / Т.П. Хомутецька. - К.: КНУБА, 2020. – 389 с.*
11. *Matyash A., Usenko I., Myagkohlib R., Kostenko S. (2017) Estimation of reliability of metal water. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/1 (87), 35-42 p. doi:10.15587/1729-4061.2017.101262.*
12. *Szpak D., Tchorzewska-Cieslak B. Assessment of the failure rate of water supply system in terms of safety of critical infrastructure. – Chemik, 2014. Vol. 68, Issue 10. – pp. 865-867.*
13. *Mays L. Water transmission and distribution. (2018). – AWWA, Denver: US. – 562 p.*

References

1. Belozorov N.P., Luhovskoy M.V. (1973) Raschet system vodosnabzhenyya s prymenenyem vyichislitelnoy tekhnyky. M.:Kolos, 248 p.
2. Belan A.E., Khoruzhyy P.D. (1981) Proektyrovanye y raschët ustroystv vodosnabzhenyya. K.: Budivelʹnyk, 192 p.
3. Khoruzhyy P.D., Tkachuk O.A. (1993) Vodoprovidni systemy i sporudy. K.:Vyshcha shkola, 262 p.
4. Ukrayinetsʹ M.O. (2002) Vodoprovidni merezhi (teoriya i proektuvannya). Zaporizhzhya: ZDIA, 186 p.
5. Novokhatniy V.G. (2012) Reliability of functioning the giving-distributive complex water-supply systems (Doctoral dissertation). Available from National Library of Ukraine named of V.I. Vernadsky. (DC 131058).

6. Matyash O.V. (2012) Evaluation of reliability and improvement of calculations of the water with the networks of the ramified type systems: Dis. cand. tehn. Science: 05.23.04/ Poltava: PoltNTU, 225 p.
7. Khomutetska T.P. (2016) Energy saving water supply. K.: Agricultural Science. 304 p.
8. Novokhatniy V., Kostenko S., Matyash O. (2019). Reliability of small settlements water supply. Poltava: PNTU. 103 p.
9. Tkachuk O.A., Shevchuk A.Y. (2019) Determination of indicators functional reliability water supply facilities. *Scientific Bulletin of Construction.* v. 97. № 3. pp. 126-134.
10. Khomutets'ka T.P. (2020) Rozvytok naukovykh i praktychnykh zasad enerhooshchadzhenoho vodopostachannya z pidzemnykh dzherel : dys. dokt. tekhn. nauk: 05.23.04/ K.: KNUBA, 389 p.
11. Matyash A., Usenko I., Myagkohlib R., Kostenko S. (2017) Estimation of reliability of metal water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 3/1 (87), 35-42 p. doi:10.15587/1729-4061.2017.101262.
12. Szpak D., Tchorzewska-Cieslak B. (2014) Assessment of the failure rate of water supply system in terms of safety of critical infrastructure. *Chemik,* Vol. 68, Issue 10. pp. 865-867.
13.Mays L. (2018) Water transmission and distribution. AWWA, Denver: US. 62 p.

Рецензент: доктор технічних наук, професор В.Г. Усенко, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна.

Автор: НОВОХАТНІЙ Валерій Гаврилович
доктор технічних наук, професор
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
E-mail – vgn43@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8107-7912

Автор: МАТЯШ Олександр Васильович
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
E-mail – matyash1983101@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9817-8282

Автор: УСЕНКО Ірина Сергіївна
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
E-mail – irina__usenko@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6217-4423

ENERGY SAVING THROUGH IMPROVED TOPOLOGY OF THE CITY WATER NETWORK

V. Novokhatniy, O. Matyash, I. Usenko
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Ukraine

This article compares the operation of the existing water supply system in the city Kremenchuk, Poltava region, namely the giving-distributive complex (GDC), which includes the main water network and the pumping station of the 2-nd lift, with the GDC, in which the topological structure has been improved by introducing a new section of the network. During the operation of the GDC, the tasks of repairing or replacing pipes of individual sections the water network constantly arise. At the same time, attention should also be paid to the topological structure of the water network during its reconstruction. The need to improve the topological structure is clearly seen after performing hydraulic calculations and building piezometric maps. For comparison, piezometric maps need to build before and after the reconstruction of the water network. At the nodal points of the network, a geodetic mark, free pressure and piezometric mark are shown. Considering that water moves from a larger piezometric mark to a smaller one, the directions of water movement and water network nodes with minimal free pressures are determined. At the same time, flaws in the topological structure are found on the piezomap, which should be eliminated in order to increase its dependebility. It is known that dependebility includes 3 components: reliability, maintainability and durability. Durability is ensured by the choice of pipe material during design. If we take into account simultaneously reliability and maintainability, then a complex indicator should be used, namely, the availability factor Ka. It estimates the probability that at any given time the section of water network is in working condition. According to the topological structure, the water network of the city should be looped and have more connections between nodes. But in practice, this principle can not always be maintained, given the planning structure of the streets the city. Graphical representation of hydraulic calculations using piezomaps allows you to identify overloaded sections of the water network and increase its dependebility. When improving the topological structure, it is necessary to use the prof. Novokhatniy principle, namely, new sections must be introduced so that they unite the existing nodes of the existing water network. Hydraulic calculations have shown that by improving the topological structure of the water network the city Kremenchuk, the annual energy saving is about 452 thousand kWh, which corresponds to a saving of about UAH 2.7 million per year (at the cost of electricity 6 UAH per 1 kWh).

Keywords: *water supply system, giving-distributive complex, water network, topology, energy saving.*