

В.Г. Новохатній, О.В. Матяш, Д.О. Гах

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Стаття присвячена оцінюванню процесу функціонування централізованого водопостачання у мирний час і під час бойових дій. Запропоновано підвищити її живучість шляхом будівництва нового водозабору, очисних споруд і насосних станцій при реконструкції системи водопостачання. Гідравлічні розрахунки підтверджують достатню пропускну спроможність мережі для мінімальних потреб населення при роботі лише одного нового водозабору.

Ключові слова: система централізованого водопостачання, живучість, водопровідна мережа, кризова ситуація.

Постановка проблеми

Живучість інфраструктури міста в умовах воєнних дій є необхідною умовою для життєдіяльності населення. Радикально враховувати вимоги живучості потрібно ще на стадії проектування інфраструктури. Проте, за відсутності воєнних загроз для держави України за останні 50 років, вказані вимоги були послаблені, тому що потребували додаткових капіталовкладень. Але ці недоліки різко виявилися після агресивної російської навали в 2022 році.

Централізовані системи водопостачання населених пунктів (міст, селищ, сел) є складовою частиною інфраструктури, які визначають рівень водозабезпечення населення, промислових і комунальних підприємств та інших закладів. Питна вода життєво необхідна для людини, а тому, як і продовольство, вирішує життєдіяльність населення. Виходячи з цього, проблема підтримання живучості централізованої системи водопостачання в умовах воєнного стану, коли ворогом пошкоджена або зруйнована частина водопровідних споруд потребує свого вирішення.

Особливістю функціонування централізованих систем водопостачання населених пунктів є те, що водопровідні споруди поєднані у послідовний ланцюг – від водозабірних споруд до споживачів води у житлових будинках чи на промислових підприємствах. Така централізація виправдовує себе у мирний час існування держави та є дуже вразливою в умовах війни через відсутність захисту від враження ворогом окремих споруд. Все це призводить до повної втрати працездатності системи водопостачання як послідовно поєданого ланцюга окремих водопровідних споруд.

На сьогоднішній день потрібно розробляти заходи щодо підвищення живучості систем централізованого водопостачання населених пунктів. Це може бути як розбудова систем нецентралізованого водопостачання, які доповнюють системи централізованого водопостачання, так і резервування споруд і систем у цілому при реконструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема живучості централізованих систем водопостачання у мирні часи в Україні не вважалася актуальною і тому не підлягала глибоким дослідженням. Дотичною до проблеми живучості є проблема надійності систем централізованого водопостачання. У цьому науковому напрямку є достатньо відомі наукові роботи як в Україні, так і за кордоном. Серед сучасних українських науковців слід зазначити таких професорів як Ткачук О.А. [1], Новохатній В.Г. [2-6], Хомутецька Т.П. [7, 8], доцентів Матяш О.В. [9, 10], Усенко І.С. [11] та інших. За кордоном відомі класичні роботи професора Mays L.W. [12, 13], а також ряд інших [14-17]. Проте проблема живучості глибоко досліджується при розробленні інформаційних систем, а саме в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України [18, 19] та у військовій сфері [20].

Досвід країн, що перебувають у стані військових конфліктів (Сирія, Ірак, Ємен), дозволяє зрозуміти та проаналізувати поведінку систем водопостачання у кризових ситуаціях. Дослідження продемонстрували чітку кореляцію між руйнуванням централізованої інфраструктури та виникненням децентралізованих систем, де населення адаптується шляхом буріння свердловин,

використання автоцистерн та локальних установок (бювети питної води) [24 - 26].

Для коректної оцінки живучості необхідно застосовувати аналіз, керований тиском (Pressure Driven Analysis - PDA), який дозволяє моделювати реальну поведінку мережі в умовах дефіциту [27, 28]. Традиційне проектування базується на аналізі, керованому попитом (Demand Driven Analysis - DDA), де припускається постійна наявність необхідного тиску, що є хибним припущенням в умовах бойових дій.

Дослідження доводять, що режим переривчастого водопостачання (Intermittent Water Supply - IWS) є руйнівним для фізичної структури мережі [29]. Часті цикли наповнення-спорожнення викликають гідроудари та коливання тиску, що призводить до зростання частоти аварій на магістралях на 40%, а на запірній арматурі – на 12%.

Реконструкція насосних станцій вимагає впровадження частотних перетворювачів для плавного регулювання продуктивності насосів та підтримання мінімального тиску в аварійних режимах. Сучасні системи водопостачання, керовані SCADA, потребують посиленої кібер-фізичної безпеки через зростання загрози кібератак, які можуть дистанційно відключати насоси або змінювати дозування реагентів [30 - 32].

Формулювання мети статті

Метою цієї статті – оцінити живучість системи централізованого водопостачання міста та розробити заходи щодо її підвищення в кризових ситуаціях шляхом реконструкції – будівництва резервного водозбору та очисних споруд.

Виклад основного матеріалу

Розрахунки процесу функціонування централізованих систем водопостачання у мирний час зводяться до розрахунків економічності та надійності водопостачання як технологічного процесу, що розгорнутий у часі. В умовах воєнного стану та бойових дій, а також надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру, на перший план виступають розрахунки живучості централізованих систем водопостачання. Тобто такого процесу функціонування системи водопостачання, коли її працездатність обмежена в умовах зовнішніх діянь. При цьому створюється ситуація часткової працездатності централізованої системи водопостачання населених пунктів (міст, селищ, сіл).

Чому в нормативних документах з водопостачання питання надійності та живучості функціонування водопровідних споруд приділено недостатньо уваги? На це є дві причини. Перша –

розробники нормативних документів спираються на наукові розробки, але таких розробок, які доведені до практики, недостатньо. Друга – в процесі експлуатації водопровідних споруд їх відмови усуваються шляхом припинення водопостачання населенню, і це вважається нормою. В мирний час більше уваги звертається на якість питної води та проблему забруднення водних ресурсів, що використовується для водопостачання. А питання розрахунків живучості систем централізованого водопостачання взагалі не вимагаються в нормативній документації з водопостачання.

Варто погодитися з пропозицією авторів статті «Надзвичайні ситуації в системах інженерних інфраструктур міст» [21], які пропонують розширити перелік відповідних нормативів при проектуванні нових і реконструкцій діючих споруд з їх поділом на традиційні нормативи і особливі нормативи.

В традиційні нормативи доцільно включати міцність та надійність (безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність) водопровідних споруд. Ресурс є одним з показників довговічності. В особливі нормативи слід включати розрахунки показників живучості, безпечності та ризиків, що виникають в процесі експлуатації систем централізованого водопостачання. У такий спосіб процес функціонування систем централізованого водопостачання буде оцінено як для мирного часу, так і для періодів воєнного стану та бойових дій або надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру, тобто кризових ситуацій.

Поняття «живучість» (англ. «survivability») сформульовано у ряді нормативних документів (ДСТУ 2226-93, ДСТУ 3440-96), але найточніше це викладено в ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення», а саме:

- «живучість» – це властивість об'єкта зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх діянь, що призводять до відмов його складових частин.

Якщо орієнтуватися на сьогодишню ситуацію в Україні щодо систем централізованого водопостачання населених пунктів, то це означає, що такі системи повинні зберігати хоча б обмежене водопостачання, коли у разі бойових дій руйнуються окремі водопровідні споруди. Зазвичай, такі обмеження водопостачання повинні бути розраховані щодо зниження тиску води у водопровідній мережі або обмеження водопостачання в окремих районах населеного пункту. У кризових ситуаціях, згідно з рекомендаціями ВООЗ [22] та проекту "Сфера" (The Sphere Project) [23], мінімальна кількість води для забезпечення базових санітарно-гігієнічних потреб складає 15-20 літрів на людину на добу. Для

тривалого періоду рекомендований обсяг води для забезпечення належних санітарно-гігієнічних потреб зростає до 50 літрів на людину на добу, що дозволяє підтримувати базовий рівень особистої гігієни, прання та інших необхідних потреб. Проте, хоча б мінімальне доступне питне водопостачання з розрахунку 10 літрів на добу на одного жителя, повинно бути забезпечене шляхом підвищення живучості систем централізованого водопостачання.

Зазвичай, для підвищення живучості діючої системи централізованого водопостачання доводиться проводити реконструкцію, бо існуючі системи були розраховані на функціонування в умовах мирного часу. Розглянемо для прикладу систему централізованого водопостачання одного з міст України, джерелом водопостачання якого є ріка. З умов економічності роботи системи централізованого водопостачання було побудовано систему водопостачання з одного ланцюга, який включає водозабір, насосні станції 1-го та 2-го підняття, водопровідні очищувальні споруди, напірні водогони та водопровідну мережу. Така система водопостачання задовільно працює в умовах мирного часу, але має недостатню живучість в умовах бойових дій та надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру.

Радикальним рішенням для підвищення її живучості є розбудова ще одного ланцюга водопровідних споруд, який включає новий водозабір та очищувальні споруди, а також насосні станції 1-го та 2-го підняття. Місто у такому разі отримує питну воду з двох сторін, що суттєво підвищує спроможність системи централізованого водопостачання забезпечувати населення питною водою у кризових ситуаціях.

У цьому випадку потрібно перевірити пропускну спроможність магістральної водопровідної мережі при роботі її у кризовій ситуації шляхом відповідних гідравлічних розрахунків. Для такого порівняння виконано:

- гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для періоду максимального водозабору при роботі тільки водозабору №1 у мирний час (рис.1);

- гідравлічний розрахунок цієї магістральної водопровідної мережі при роботі тільки водозабору №2 у кризовій ситуації з направленням потоків води у протилежному напрямку (рис.2).

При цьому були враховані наступні моменти:
1. Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі, виконано для зменшеної в 1,64 рази подачі води в кризовій ситуації (табл. 1).

Таблиця 1

Середні добові, годинні та секундні витрати води

№ з/п	Витрата води, м ³ Частина міста	Мирний час			Кризова ситуація		
		за добу	за годину	за секунду	за добу	за годину	за секунду
1	Лівобережна	54960	2290	0,64	29950	1250	0,35
2	Правобережна	9190	380	0,11	9190	380	0,11
3	Разом	64150	2670	0,75	39140	1630	0,46

Тобто гідравлічний розрахунок, виконаний за умови, що подача води в кризовій ситуації, буде становити 61% від подачі води в мирний час. Проте, споживачі води правобережної частини міста будуть забезпечені водою на 100%, а споживачі води лівобережної частини міста, яка розташована на нагірній частині, будуть забезпечені водою на 20%, що відповідає мінімальним санітарно-гігієнічним потребам населення в кризовій ситуації.

2. Відповідно до вимог ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди" та з урахуванням необхідності забезпечення пожежної безпеки, мінімальний необхідний напір у мережі повинен становити 10 м водяного стовпа. Такий напір дозволить забезпечити водою споживачів перших 2-х поверхів житлових будинків, об'єкти критичної інфраструктури (лікарні, заклади освіти, об'єкти енергетики тощо), а також дотриматись нормативних вимог щодо протипожежного водопостачання.

Результати гідравлічних розрахунків показали, що диктувальним є вузол №17 на водопровідній мережі, у якому вільний напір становить 10 м водяного стовпа, а у всіх інших вузлах вільний напір більше за 10 м.

Висновки

1. Підвищити радикально живучість системи централізованого водопостачання міста можна шляхом розбудови нового водозабору на правобережній частині міста при реконструкції системи централізованого водопостачання.

2. Після реконструкції централізована система водопостачання міста отримує спроможність зберігати обмежену працездатність в умовах зовнішніх діянь, а саме: воєнного стану та бойових дій або надзвичайних ситуацій природного чи техногенного характеру.

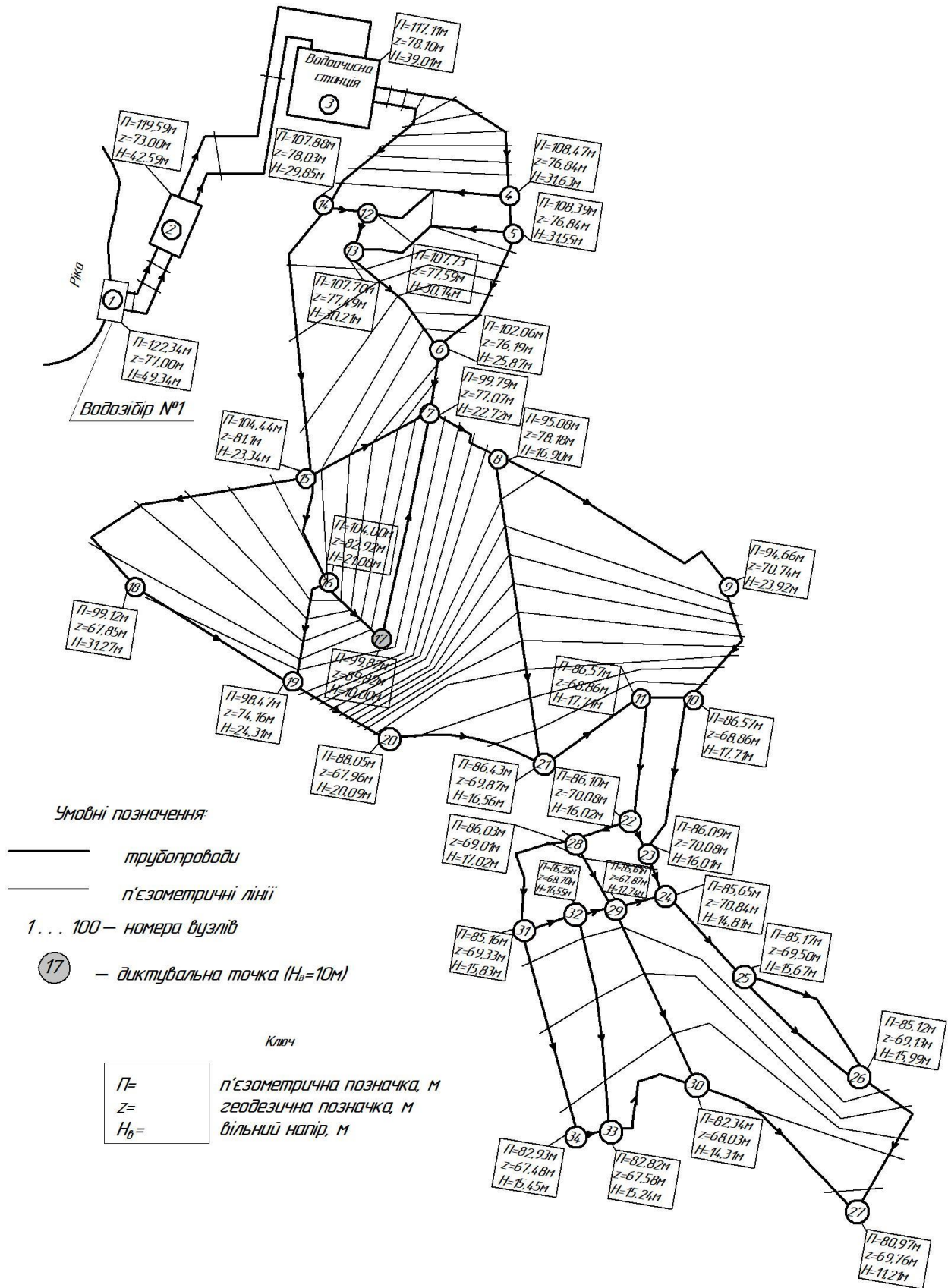


Рис. 1 – П'єзокарта для періоду максимального водорозбору системи водопостачання при роботі водозабору №1 у мирний час

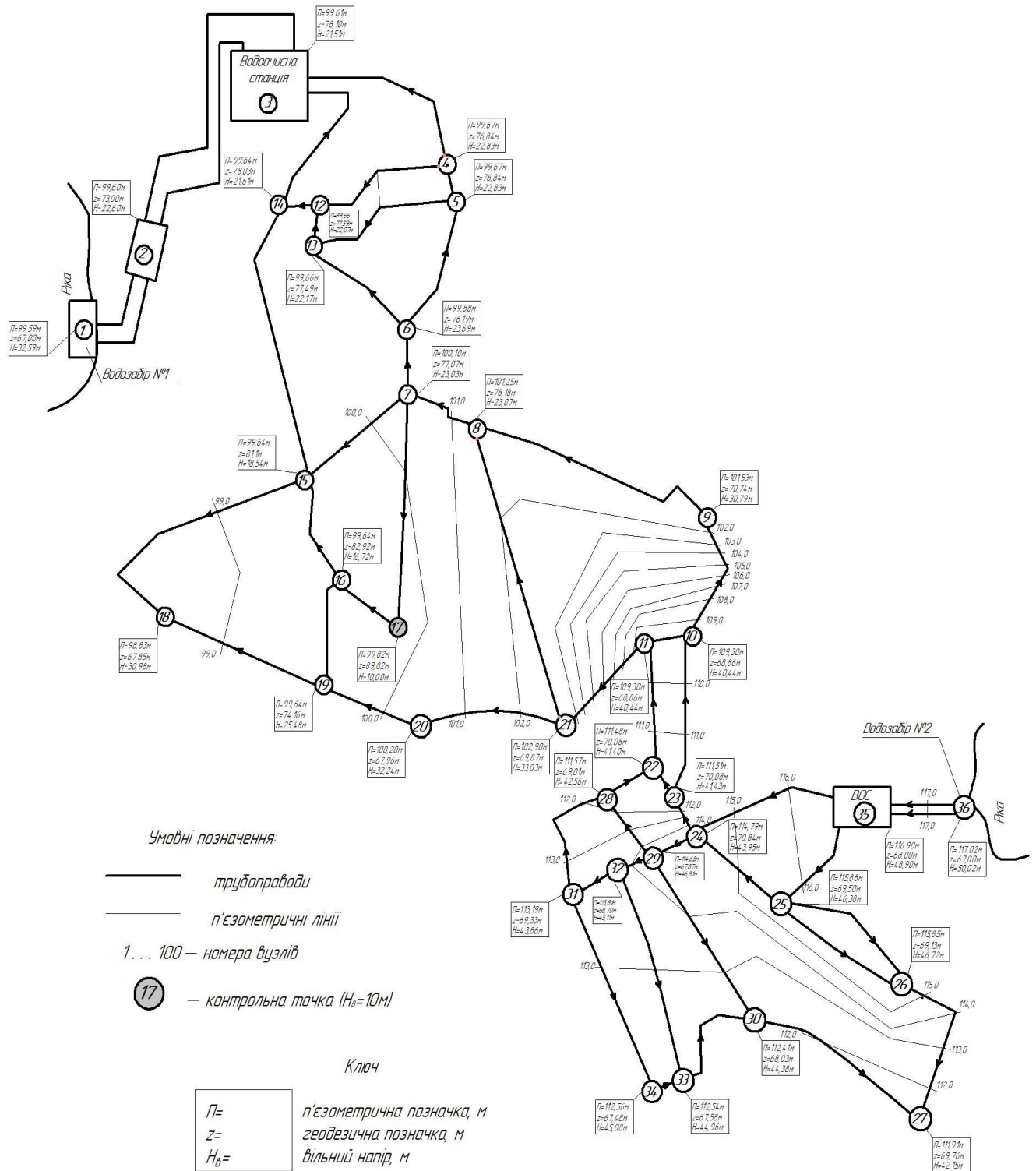


Рис. 2 – П'єзокарта для періоду роботи системи водопостачання в кризовій ситуації при подаванні води лише водозабором №2.

3. Магістральна водопровідна мережа міста має високу пропускну спроможність (за виключенням деяких ділянок), що дозволяє направляти потоки питної води у зворотному напрямку при роботі тільки одного нового водозабора №2 в кризових ситуаціях.

4. Для забезпечення тиску питної води 10 м водяного стовпа у нагрій частині міста в кризовій ситуації, при проектуванні насосної станції 2-го підняття на новому водозаборі, насосні агрегати потрібно вибирати на тиск не менше 50 м водяного стовпа.

Література

- Ткачук О.А., Шевчук А.Ю. Визначення показників функціональної надійності споруд водопостачання. [Текст] // *Наук. вісник будівництва. Зб. наук.праць – Том. 97, № 3. Харків: ХНУБА, 2019. С. 126-134.* http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2019_97_3_25
- Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання [Текст]: дис. докт. техн.наук/ 2012. – Полтава: ПолтНТУ. – 351 с. [https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=briefwebr&S21ALL=\(%3C.%3EU%3D%D0%9D761.1%3C.%3E\)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20](https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=briefwebr&S21ALL=(%3C.%3EU%3D%D0%9D761.1%3C.%3E)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20)
- Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S. (2018) Municipal Water Supply Systems of Giving-Distributive Complex Reliability with Branched Networks. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2), 653-660. Retrieved from: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/14608/5956>
- Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S., Epoin S. (2020) Principle of equireliability at the internal water-supply system design. *Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE)*. Vol. 73, pp 659-668. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_65
- Novokhatniy V., Matyash O., Feyziyeva G., Sadovyi S. Reliability Comparison Method of Rural Settlements Water-Supply // *Lecture Notes in Civil Engineering*, Vol. 299 - New Volume (2022) 489–501 https://www.researchgate.net/publication/369100242_Reliability_Comparison_Method_of_Rural_Settlements_Water-Supply
- Новохатній В.Г., Костенко С.О., Матяш О.В. Надійність водопостачання малих населених пунктів. Полтава: ПолтНТУ, 2019, 102с. <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/6673/1/16135.pdf>
- Хомутецька Т.П. Енергоощадне водопостачання. [Текст. - К.: Аграрна наука, 2016. – 304 с https://drive.google.com/file/d/1b_vKTIfxmsWoSbNE8WJHCA_dZG4xkJbWF/view
- Нор В.В., Хомутецька Т.П. Забезпечення економічної та надійної роботи систем сільськогосподарського водопостачання (на прикладі системи водопостачання села Тарасівка Київської області) // *Меліорація і водне господарство*, 2019, № 2. С. 175-185. <http://www.mivg.iwvim.com.ua>
- Матяш О.В. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж [Текст] : дис. канд. техн. наук: 05.23.04; Полтавський національний технічний ун-т ім. Юрія Кондратюка. - Полтава, 2012. – 225с. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21ICOM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%8F%D1%88%20%D0%9E\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21ICOM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%8F%D1%88%20%D0%9E$)
- Матяш О.В., Новохатній В.Г. Підвищення надійності системи водопостачання міста шляхом районування // *Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – Вип.1(154). – К.: Техніка, 2020. – С. 143 – 147* <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/uk/article/view/5545>
- Усенко І.С. Аналіз надійності та побудова трасувань кільцевих водопровідних мереж [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.23.04; Полтавський національний технічний ун-т ім. Юрія Кондратюка. - Полтава, 2004. – 173 http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21ICOM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9D761%2E1%2D02%24
- Mays L.W. (1999) *Water Distribution System Handbook*, 1st Edition The McGraw-Hill Companies, Inc. <https://www.scribd.com/document/411098192/water-distribution-system-handbook-by-larry-mays-pdf>
- Mays L.W. *Water transmission and distribution*. – AWWA, Denver, USA, 2018. – 562 p. <https://www.scribd.com/document/834150950/Water-Transmission-and-Distribution-Principles-and-Practices-of-Water-Supply-Operations-4th-Edition-Larry-Mays-Quickly-download-the-ebook-to-never-m>
- Bao, Y., and L. W. Mays. 1990. “Model for water distribution system reliability.” *J. Hydraul. Eng.* 116 (9): 1119–1137. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1990\)116:9\(1119\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:9(1119))
- Tianwei Mu, Yaqi Li, Ziyi Li, Luyue Wang, Haoqiang Tan & Chengzhi Zheng Improved network reliability optimization model with head loss for water distribution system. *Water Resources Management Article Volume 35*, pages 2101–2114 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-021-02811-9>
- TCHÓRZEWSKA CIEŚLAK B., BORYCZKO K., EID M., Failure scenarios in water supply system by means of fault tree analysis, [in:] A. Grall, C. Bérenguer, C. Guedes Soares (Eds.), *Advances in Safety, Reliability and Risk Management*, Taylor & Francis Group, London 2012, 2492–2499. https://www.researchgate.net/publication/340073435_Analysis_of_risk_of_failure_in_water_main_pipe_network_and_of_delivering_poor_quality_water
- Szpak, D., Tchyrzewska-Cieslak B. Assessment of the failure rate of water supply system in terms of safety of critical infrastructure [Text] // *Chemik. – 2014. – Vol. 68, Issue 10. – P. 862–867.* https://www.researchgate.net/publication/287902212_Assessment_of_the_failure_rate_of_water_supply_system_in_terms_of_safety_of_critical_infrastructure
- Додонов О.Г., Кузнєцова М.Г., Горбачик О.С. Живучість складних систем: аналіз та моделювання: навч. посіб. у 2-х ч. / О.Г. Додонов., — К.: НТУУ «КПІ», 2009. — 264 с. <https://old.nas.gov.ua/EN/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000013042>
- Додонов О.Г., Ланде Д.В. Методи підвищення живучості інформаційної складової корпоративних інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень // *Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012. – № 2-14. – С. 48-58.* <http://dwl.kiev.ua/art/ipri2012/zh.pdf>
- Глоба О.В., Левченко М.А., Паталаха В.Г. Безпека застосування та забезпечення живучості сил та засобів родів військ та спеціальних військ повітряних сил

збройних сил України Повітряна міць України. – 2021. – вип. №1. – С. 83-87

21. Шеренков І.А., Архіпов О.В. Надзвичайні ситуації в системі інженерних інфраструктур міст. Зб. наук. праць «Науковий вісник будівництва». Харків: ХДТУБА, ХОТБ АБВ, 2008, №49.– с. 270-272.

22. Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation and Hygiene in Emergencies" - https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/technicalnotes/en/

23. The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response" - <https://spherestandards.org/handbook-2018/>

24. For better or worse: the influence of conflict-driven decentralization on the resilience of urban water supply infrastructure in the Middle East [Electronic resource] / [E. Ksanitskaya et al.]. – Electronic text data. – Regime of access: https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/421380609/For_better_or_worse_the_influence_of_conflict-driven_decentralization_on_the_resilience_of_urban_water_supply_infrastructure_in_the_Middle_East.pdf, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

25. ENDING CONFLICTS OVER WATER [Electronic resource] / Pacific Institute. – Electronic text data. – Regime of access: <https://pacinst.org/wp-content/uploads/2020/09/Ending-Conflicts-Over-Water-Pacific-Institute-Sept-2020.pdf>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

26. Conflict Resilience of Water and Energy Supply Infrastructure [Electronic resource] / [J. Smith et al.] // MDPI. – Electronic text data. – 2020. – Vol. 12, no. 11. – Regime of access: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3269>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

27. Qualification of Hydraulic Analysis Models for Optimal Design of Water Distribution Systems [Electronic resource] // Applied Sciences. – Electronic text data. – 2021. – Vol. 11, no. 17. – Regime of access: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/8152>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

28. Review of Modeling Methodologies for Managing Water Distribution Security [Electronic resource] // PMC. – Electronic text data. – Regime of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7898161/>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

29. Survival analysis of water distribution network under intermittent water supply conditions [Electronic resource] // ResearchGate. – Electronic text data. – 2020. – Regime of access: https://www.researchgate.net/publication/344385582_Survival_analysis_of_water_distribution_network_under_intermittent_water_supply_conditions, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

30. ANALYSIS OF EMERGENCY OPERATION OF WATER PIPELINES [Electronic resource] // ResearchGate. – Electronic text data. – 2023. – Regime of access: https://www.researchgate.net/publication/367873352_ANALYSIS_OF_EMERGENCY_OPERATION_OF_WATER_PIPELINES, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

31. Stress-testing water distribution networks for cyber-physical attacks on water quality [Electronic resource] / [M. Brown et al.] // Urban Water Journal. – Electronic text data. – 2021. – Regime of access: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2021.1995446>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

32. Investigation of Cyber Attacks on a Water Distribution System [Electronic resource] // arXiv. – Electronic text data. – 2019. – Regime of access: <https://arxiv.org/pdf/1906.02279>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

References

1. Tkachuk, O. A., & Shevchuk, A. Yu. (2019). Determination of functional reliability indicators of water supply facilities. Scientific Bulletin of Construction, 97(3), 126-134. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2019_97_3_25
2. Novokhatniy, V. G. (2012). Reliability of functioning giving-distributive complex of the water supply systems. [Doctor of Technical Sciences Dissertation Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University]. Retrieved from [https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=briefwebr&S21ALL=\(%3C.%3E%3D%3E%3E\)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20](https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=briefwebr&S21ALL=(%3C.%3E%3D%3E%3D%3E%3E)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20)
3. Novokhatniy, V., Matyash, A., & Kostenko, S. (2018). Municipal water supply systems of giving-distributive complex reliability with branched networks. International Journal of Engineering & Technology, 7(3.2), 653-660. Retrieved from <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/14608/5956>
4. Novokhatniy, V., Matyash, A., Kostenko, S., & Epoin, S. (2020). Principle of equireliability at the internal water-supply system design. Lecture Notes in Civil Engineering, 73, 659-668. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_65
5. Novokhatniy, V., Matyash, O., Feyziyeva, G., & Sadovyi, S. (2022). Reliability comparison method of rural settlements water-supply. Lecture Notes in Civil Engineering, 299, 489-501. https://www.researchgate.net/publication/369100242_Reliability_Comparison_Method_of_Rural_Settlements_Water-Supply
6. Novokhatniy, V. G., Kostenko, S. O., & Matyash, O. V. (2019). Water supply reliability of small settlements. Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Retrieved from <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/6673/1/16135.pdf>
7. Khomutetska, T. P. (2016). Energy-saving water supply. Kyiv: Agrarian Science. https://drive.google.com/file/d/1b_vKTlfxmsWoSbNE8WJHCA_dZG4xkJbWF/view
8. Nor, V. V., & Khomutetska, T. P. (2019). Ensuring economical and reliable operation of agricultural water supply systems (on the example of the water supply system of Tarasivka village, Kyiv region). Land Reclamation and Water Management, 2, 175-185. Retrieved from <http://www.mivg.iwpim.com.ua>
9. Matyash, O. V. (2012). Improvement of methods for assessing reliability and calculations of branched water supply networks. [Doctoral dissertation, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University]. Retrieved from [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%8F%D1%88%20%D0%9E\\$](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%8F%D1%88%20%D0%9E$)

10. Matyash, O. V., & Novokhatniy, V. G. (2020). Improving the reliability of the city's water supply system through zoning. *Municipal Economy of Cities: Scientific and Technical Collection*, 1(154), 143-147. Retrieved from <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/uk/article/view/5545>
11. Usenko, I. S. (2004). Analysis of Reliability and Laying-out of Tracing for Loop Piping in Waterv Supply Networks [Doctoral dissertation, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University]. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis.64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9D761%E1%2D02%24
12. Mays, L. W. (1999). *Water distribution system handbook* (1st ed.). McGraw-Hill Companies, Inc. Retrieved from <https://www.scribd.com/document/411098192/water-distribution-system-handbook-by-larry-mays-pdf>
13. Mays, L. W. (2018). *Water transmission and distribution*. American Water Works Association. <https://www.scribd.com/document/834150950/Water-Transmission-and-Distribution-Principles-and-Practices-of-Water-Supply-Operations-4th-Edition-Larry-Mays-Quickly-download-the-ebook-to-never-m>
14. Bao, Y., & Mays, L. W. (1990). Model for water distribution system reliability. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116(9), 1119-1137. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1990\)116:9\(1119\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1990)116:9(1119))
15. Mu, T., Li, Y., Li, Z., Wang, L., Tan, H., & Zheng, C. (2021). Improved network reliability optimization model with head loss for water distribution system. *Water Resources Management*, 35, 2101-2114. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02811-9>
16. Tchórzewska-Cieślak, B., Boryczko, K., & Eid, M. (2012). Failure scenarios in water supply system by means of fault tree analysis. In A. Grall, C. Bérenguer, & C. Guedes Soares (Eds.), *Advances in Safety, Reliability and Risk Management* (pp. 2492-2499). Taylor & Francis Group. https://www.researchgate.net/publication/340073435_Analysis_of_risk_of_failure_in_water_main_pipe_network_and_of_delivering_poor_quality_water
17. Szpak, D., & Tchórzewska-Cieślak, B. (2014). Assessment of the failure rate of water supply system in terms of safety of critical infrastructure. *Chemik*, 68(10), 862-867. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/287902212_Assessment_of_the_failure_rate_of_water_supply_system_in_terms_of_safety_of_critical_infrastructure
18. Dodonov, O. G., Kuznetsova, M. G., & Gorbachyk, O. S. (2009). Survivability of complex systems: analysis and modeling. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". <https://old.nas.gov.ua/EN/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000013042>
19. Dodonov, O. G., & Lande, D. V. (2012). Methods for increasing the survivability of the information component of corporate information-analytical decision support systems. *Registration, Storage and Processing of Data*, 14(2), 48-58 <http://dwl.kiev.ua/art/ipri20122/zh.pdf>
20. Globa, O. V., Levchenko, M. A., & Patalakha, V. G. (2021). Security of application and ensuring survivability of forces and means of combat arms and special forces of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. *Air Power of Ukraine*, 1, 83-87.
21. Sherenkov, I. A., & Arkhipov, O. V. (2008). Emergency situations in urban engineering infrastructure systems. *Scientific Herald of Construction*, 49, 270-272. Kharkiv: Kharkiv State Technical University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv Regional Branch of the Academy of Construction of Ukraine.
22. World Health Organization. (n.d.). Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies. Retrieved from https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/technicalnotes/en/
23. The Sphere Project. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response*. Retrieved from <https://spherestandards.org/handbook-2018/>
24. For better or worse: the influence of conflict-driven decentralization on the resilience of urban water supply infrastructure in the Middle East [Electronic resource] / [E. Ksanitskaya et al.]. – Electronic text data. – Regime of access: https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/421380609/For_better_or_worse_the_influence_of_conflict-driven_decentralization_on_the_resilience_of_urban_water_supply_infrastructure_in_the_Middle_East.pdf, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
25. ENDING CONFLICTS OVER WATER [Electronic resource] / Pacific Institute. – Electronic text data. – Regime of access: <https://pacinst.org/wp-content/uploads/2020/09/Ending-Conflicts-Over-Water-Pacific-Institute-Sept-2020.pdf>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
26. Conflict Resilience of Water and Energy Supply Infrastructure [Electronic resource] / [J. Smith et al.] // MDPI. – Electronic text data. – 2020. – Vol. 12, no. 11. – Regime of access: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3269>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
27. Qualification of Hydraulic Analysis Models for Optimal Design of Water Distribution Systems [Electronic resource] // Applied Sciences. – Electronic text data. – 2021. – Vol. 11, no. 17. – Regime of access: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/8152>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
28. Review of Modeling Methodologies for Managing Water Distribution Security [Electronic resource] // PMC. – Electronic text data. – Regime of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7898161/>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
29. Survival analysis of water distribution network under intermittent water supply conditions [Electronic resource] // ResearchGate. – Electronic text data. – 2020. – Regime of access: https://www.researchgate.net/publication/344385582_Survival_analysis_of_water_distribution_network_under_intermittent_water_supply_conditions, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.
30. ANALYSIS OF EMERGENCY OPERATION OF WATER PIPELINES [Electronic resource] // ResearchGate. – Electronic text data. – 2023. – Regime of access: https://www.researchgate.net/publication/367873352_ANALYSIS_OF_EMERGENCY_OPERATION_OF_WATER_PIPELINES, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.

31. *Stress-testing water distribution networks for cyber-physical attacks on water quality [Electronic resource] / [M. Brown et al.] // Urban Water Journal. – Electronic text data. – 2021. – Regime of access: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2021.1995446>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.*

32. *Investigation of Cyber Attacks on a Water Distribution System [Electronic resource] // arXiv. – Electronic text data. – 2019. – Regime of access: <https://arxiv.org/pdf/1906.02279>, free (date of the application: 02.12.2025). – Header from the screen.*

33.

Рецензент: д-р техн. наук, професор Д.А. Єрмоленко, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна.

Автор: НОВОХАТНІЙ Валерій Гаврилович
доктор технічних наук, професор, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна.

E-mail – ygn43@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8107-7912>

Автор: МАТЯШ Олександр Васильович
кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна.

E-mail – matyash19831010@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9817-8282>

Автор: ГАХ Дмитро Олександрович
аспірант, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна.

E-mail – Dimagah@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-5338-9191>

IMPROVING THE SURVIVABILITY OF THE CITY'S WATER SUPPLY SYSTEM DURING RECONSTRUCTION

V. Novokhatniy, O. Matyash, D. Gakh

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» Ukraine

The paper assesses the functioning of the city's main water supply network, both in peacetime and in conditions of military threats or natural or man-made emergencies. It is emphasised that in peacetime in Ukraine, the issue of the survivability of centralised water supply systems in populated areas was not considered relevant and therefore was not subject to in-depth research. In conditions of martial law and crisis situations, calculations of the survivability of centralised water supply systems come to the fore, when the situation of maintaining its partial operability is assessed. In Ukraine, regulatory documents on water supply do not pay sufficient attention to the problem of the survivability of water supply systems. The main reason is that when calculating a crisis situation, it is necessary to calculate the specific properties of water supply systems, namely survivability, safety and risks that arise in such an operation process; survivability is defined as the property of an object to maintain limited operability under external influences that lead to the failure of its components. Usually, in order to increase the survivability of an existing centralised water supply system, reconstruction is necessary, as existing systems were designed to function in peacetime conditions. This paper demonstrates the possibility of radically increasing the survivability of a centralised water supply system by building new water intake and treatment complexes in addition to the existing ones. In addition, it was necessary to check the throughput capacity of the main water supply network when the new water intake was operating in a crisis situation. Hydraulic calculations of the water supply network showed that it has a high throughput capacity. Hydraulic calculations of the water supply network when only water intake No. 2 is in operation showed that the supply of drinking water in an amount corresponding to the minimum sanitary and hygienic needs of the population in a crisis situation is ensured. At the same time, it was established that in the highest part of the city, the network will provide a minimum drinking water pressure of 10 m water column at a head of 50 m water column at the pumping station of the 2nd lift of pumps at water intake No. 2.

Keywords: *centralized water supply system, survivability, water supply network, crisis situation.*