

ВИМОГИ ДО ГІДРАВЛІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ У ВОЄННИЙ ЧАС ТА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ХБРЯ-ЗАБРУДНЕНЬ

Олександр Кравченко¹, Світлана Потапенко², Тетяна Куба³, Тетяна Аргатенко⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

¹ докт. техн. наук, kravchenko.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6289-0641

³ potapenko_sp-2022@knuba.edu.ua, orcid.org/0009-0000-4221-4048

² cubatan2@gmail.com, orcid.org/0009-0003-1223-1818

⁵ канд. техн. наук, argatenko.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2516-2906

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.45.32-38

Анотація. Воєнні дії на території України продемонстрували, що припинення централізованої подачі води може відбуватись як внаслідок безпосереднього руйнування об'єктів водопостачання, так і внаслідок знеструмлення, погіршення якості води у джерелі, недоступності самого вододжерела тощо. Отже ситуація потребує застосовування абсолютно нових підходів до гідравлічного моделювання, встановлення нових вимог до режимів моделювання і аналізу отриманих моделей. Впроваджені на багатьох водоканалах України гео-інформаційні системи сьогодні мають використовуватись для моделювання несприятливих сценаріїв, проведення для них гідравлічних розрахунків з наступним визначенням оптимальних шляхів покращення ситуації. Також виникла необхідність проведення гідравлічних розрахунків при розробленні програми реагування на хімічні, біологічні, радіаційні, ядерні (ХБРЯ) забруднення води. Аналіз ситуації, наведений в статті, дозволяє зробити висновок про доцільність використання з цією метою програмного забезпечення Epanet, оскільки спеціалізовані програмні комплекси зазвичай не мають необхідних функцій. При чому для систем, що не мають відповідної гідравлічної моделі, першим етапом повинна стати її розробка, яка включатиме оцифрування вихідної картографічної інформації, натурне уточнення розподільних мереж, визначення навантажень мережі, калібрування моделі по контрольних точках.

Ключові слова: водопровідна мережа, гідравлічне моделювання, воєнні дії, ХБРЯ-забруднення

ВСТУП

Забезпечення надійності експлуатації, енергоефективності та безпечності водопостачання населення сьогодні базується на широкому впровадженні гідравлічного та якісного моделювання роботи систем водопостачання [1-5]. На теперішній час в багатьох водоканалах України впроваджені гео-інформаційні системи (ГІС). Оскільки зазвичай їх впровадження проводилось одночасно з розробкою гідравлічної моделі систем (а в ряді випадків взагалі саме з метою розробки), такі моделі (причому досить високої

деталізації) створені принаймні у великих містах, а досить часто і в районних центрах.

Однак у довоєнний час користь від вказаних моделей була досить обмеженою. Крім очевидної можливості формувати будь-які карти та прогнозувати відключення споживачів при перекритті окремих засувок (наприклад, для ізоляції аварійної ділянки і скиду на ній води), такі моделі теоретично мають застосовуватися для оптимізації розвитку схем водопостачання (кільцювання, оптимізації діаметрів, формуванні незалежних гідравлічних зон). Проте ці можливості до певної міри обмежені, оскільки чинний ДБН В.2.5.74:2013 «Водопостачання.

Зовнішні мережі та споруди» не передбачає процедуру визначення діаметрів трубопроводів на основі гідравлічної моделі поточного стану системи, рекомендуючи використовувати розраховані за нормами, а по факту суттєво завищені, навантаження. Звичайно в разі чіткої впевненості в результаті проектувальник міг встановлювати діаметри, довіряючи програмі і правильності розрахунку, але колізія вочевидь існувала.

Більш сучасні геоінформаційні системи дозволяли також вирішувати ряд специфічних геопросторових завдань, як, наприклад, інтеграція з системами управління активами, білінгом, аварійно-ремонтними роботами, видачою і фіксацією виконання технічних умов на підключення нових споживачів, збір і автоматичне управління через систему SCADA тощо [6-8]. При цьому ГІС перетворювався на єдину просторову базу даних, де інтегрувалась вся інформація щодо системи, але ці задачі мало пов'язані з гідравлічним моделюванням.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Військові дії на території України продемонстрували значну вразливість систем водопостачання [9,10]. Припинення централізованої подачі води може відбуватись як внаслідок безпосереднього руйнування об'єктів водопостачання, так і (частіше) опосередковано – внаслідок знеструмлення, погіршення якості води у джерелі, недоступності самого вододжерела і т.д. Одним з шляхів реагування на такі події є підтримка в системі нестандартних гідравлічних режимів (наприклад, подача води до рівня нульового поверху, використання окремих насосів в реверсному режимі та ін.). Крім того, підриг Каховської ГЕС змусив звернути увагу на підготовку програм захисту від ризиків ХБРЯ-забруднень (хімічні, біологічні, радіаційні, ядерні забруднення).

Усе вищезгадане потребує застосування абсолютно нових підходів до гідравлічного моделювання, встановлення нових вимог до режимів моделювання і аналізу отриманих моделей.

Залишимо поза розглядом формування планів децентралізованого водопостачання,

які ми описали в попередній статті [11]. Хоча це безумовно геопросторова задача, але вона вирішується не на основі ГІС мереж водопостачання, які мають в своєму розпорядженні водоканали, і не потребує гідравлічного моделювання.

Як показує практика моделювання нестандартних режимів [12-15], задача полягає в дослідженні кількох несприятливих сценаріїв, проведення для них гідравлічних розрахунків з наступним визначенням оптимальних шляхів покращення ситуації при такому сценарії.

Серед найбільш вірогідних сценаріїв слід розглядати наступні.

Недоступність одного з джерел водопостачання (якщо в населеному пункті їх кілька). Причиною недоступності джерела можуть бути різні фактори від фізичного перекриття подачі води (наприклад, руйнування трубопроводу подачі води з Херсонської області в Миколаїв), руйнування або знеструмлення водозабору, насосних і водоочисних станцій, так і погіршення якості води в джерелі (внаслідок природних явищ, техногенної катастрофи або умисного отруєння водойм). При дослідженні сценаріїв знеструмлення необхідно використовувати додаткові дані від енергетичної служби водоканалу або енергетичної компанії стосовно залежності енергопостачання для окремих елементів. Наприклад, усі свердловини можуть бути підключені до однієї ТП, або окремі свердловини живляться від різних ТП. Існує також вірогідність, що ТП взаємозв'язані в енергомережі і будуть знеструмлюватися одночасно.

Схожа ситуація з моделюванням ризику забруднення води. Якщо є декілька поверхневих водозаборів з одного водного тіла, то вони з високою вірогідністю будуть виведені з ладу одночасно. При розгляді таких сценаріїв ще до початку гідравлічного моделювання необхідно скласти водний баланс, далі шляхом аналізу гідравлічних даних напрацювати режими роботи насосів для можливості забезпечення перерозподілу води і подачі її до всіх споживачів. Особливим випадком розрахунку може бути варіант, коли всі водозабори забруднені і населений пункт

повинен перейти на використання лише запасів води, доступних у мережі. Тут завдання полягає в адекватному підборі режимів подачі води споживачам, щоб забезпечити водопостачання протягом всього необхідного часу відключення.

Знеструмлення або виведення з ладу насосних станцій, окремо або групами в залежності від особливостей енергозабезпечення та вірогідності відповідного ризику. Для кожного зі сценаріїв потрібно розглянути варіанти «компенсації» подачі води за рахунок інших насосних станцій. Очевидно, що такий аналіз виявить необхідність встановлення додаткового насосного обладнання або взагалі неможливість постачання води в окремі райони. В такому випадку може бути прийняте рішення про застосування автономного живлення (наприклад, за рахунок дизель-генераторів) або переходу на децентралізоване водопостачання у відповідних районах.

Переведення окремих районів або всього населеного пункту в режими зменшеного водоспоживання. До таких режимів може відноситись подача води на перший поверх будинків без підтримання більшого тиску, або децентралізоване забезпечення (наприклад, водовозами) в окремих районах. При цьому необхідно розглянути випадок, коли джерелом води для цих районів залишається система централізованого водопостачання. При цьому в обох згаданих режимах населення отримує воду у тару, а не через крани, що природно призводить до значного зменшення водоспоживання. Зазвичай в перші два тижні, а також за наявності технічної води в системі, достатньо забезпечити подачу води в обсязі 5 л/добу/людину, а при відключенні води понад 2 тижні за відсутності технічної води цю норму слід збільшити до 15 л/добу/людину.

Крім зміни витрат води зменшуються і вимоги до тиску, що також передбачає проведення специфічних гідравлічних аналізів. В разі децентралізованого водопостачання повинні бути встановлені точки розливу води, а витрати і тиск в них мають бути достатніми, щоб забезпечити заповнення розрахованої кількості водовозних машин.

Необхідно відзначити ще одну важливу задачу, що виникає паралельно з моделюванням гідравліки у незвичайних режимах роботи системи. Зазвичай зниження водоспоживання супроводжується зменшенням швидкості руху води у трубопроводах і, відповідно, збільшенням часу перебування води у розподільній мережі. Це створює ризик елімінації знезаражувального реагенту, наприклад, хлору. Тому, бажано доповнити розрахунки гідравлічного режиму також і моделюванням якості води з урахуванням можливої елімінації дезінфікуючого агента. При використанні діоксиду хлору, який має набагато більший час елімінації, таке моделювання можна не проводити.

Якщо для водопостачання використовуються різні джерела, вода в одному з яких не відповідає встановленим нормативам, а потрібна якість води в мережі досягається за рахунок змішування води різних джерел, необхідно також проводити моделювання якості води за кожним з проблемних показників.

Реагування на ХБРЯ-забруднення

Інше завдання полягає у проведенні необхідних гідравлічних розрахунків при розробленні програми реагування на ХБРЯ-забруднення [16-17]. В цьому випадку також необхідно здійснювати моделювання різних сценаріїв.

Теоретично ХБРЯ-забруднення можуть потрапити до системи централізованого водопостачання трьома шляхами:

- через джерело водопостачання;
- під час очищення води;
- безпосередньо в розподільній мережі.

Високо вірогідним сценарієм є поява ХБРЯ-забруднень в джерелі водопостачання внаслідок техногенних або природних явищ. В цьому випадку ключовим завданням є своєчасне виявлення ХБРЯ-загрози та адекватне реагування на неї. Часто це може означати припинення подачі води з забрудненого водозабору (цей сценарій розглянуто вище).

Але можлива ситуація, коли з певних причин не вдалось своєчасно припинити забір води і вода із забрудненого джерела потрапила до розподільної мережі. Для такого

випадку також варто проводити моделювання розповсюдження води в мережі, щоб виявити заражені ділянки і райони та час, після якого вживати воду небезпечно. При моделювання в *Epanet* може виникнути проблема у встановленні коефіцієнту елімінації забруднення з води. Якщо визначити коефіцієнт теоретично неможливо або дані недоступні (характерно для бойових отруйних речовин), слід приймати його нульовим, тобто вважати речовину достатньо стійкою у порівнянні з часом перебування води у розподільних мережах. Моделювання повинне проводитись як для розповсюдження ХБРЯ-забруднення в мережі, так і для подальшого відмивання мережі після подачі в систему якісної води.

Що стосується забруднення води під час її очищення, то потрапляння зовнішніх забруднювачів мало вірогідне, оскільки зазвичай відповідні об'єкти досить добре охороняються. Але останнім часом став цілком реальним сценарій отруєння води шляхом передозування реагентів. Реалізація такого сценарію відбувається кібератакою на системи SCADA підприємства, отримання доступу до управління системою дозування реагентів і здійснення його понаднормової подачі. Наприклад, враховуючи, що дезінфікуючі реагенти при перевищенні певної дози можуть бути токсичними, це фактично і є реалізації ХБРЯ-забруднення.

Гідравлічне моделювання зазначеної ситуації дуже схоже з моделюванням забруднення джерела з тією різницею, що зазвичай час подачі забруднювача буде меншим, оскільки в разі перевищеного дозування витрати реагентів будуть зростати, що за певний час буде виявлено експлуатаційним персоналом станції.

Останнім часом внаслідок активізації тероризму в світі активно обговорюються і вивчаються ризики ХБРЯ-забруднення безпосередньо в системі розподілення питної води. Теоретично будь-яке несанкціоноване підключення до мережі може стати точкою потенційного забруднення води. Для цього достатньо під'єднати до розподільного крану насос з більшим тиском, ніж підтримується в мережі. Однак у цьому випадку

кількість постраждалих внаслідок ХБРЯ-забруднень споживачів буде набагато меншою, ніж при забрудненні вододжерела або при очищенні води.

З погляду гідравлічного моделювання фактично необхідно провести розрахунок якості води, виходячи з умов потрапляння нової речовини в кожен точку розподільної мережі. Звичайно, в ручному режимі зробити це надзвичайно складно та, мабуть, і недоцільно. Але для специфічних, особливо вразливих для терористичної атаки об'єктів (наприклад, центрів ухвалення рішень, об'єктів критичної інфраструктури та ін.), слід змоделювати варіанти ХБРЯ-забруднень через сусідні будівлі.

Незважаючи на велику кількість названих вище додаткових гідравлічних завдань, їх реалізація цілком можлива.

По-перше, для їх виконання більш ніж достатньо наявних можливостей відкритого кодового програмного забезпечення *Epanet*, яке тією чи іншою мірою застосовується практично у всіх програмних продуктах з гідравлічного моделювання трубопроводів. По-друге, якщо на підприємстві наявна коректна, достатньо деталізована (до кожного будинку) і відповідним чином відкалібрована гідравлічна модель, то всі вказані задачі можуть бути вирішені камерально. Тобто фактично вирішення задач буде полягати у зміні вихідних умов моделі, отриманні і аналізі результатів перерахунку без будь-яких додаткових польових досліджень. Однак, якщо модель не була достатньо деталізована, потрібний весь комплекс з розробки моделі нормальних режимів експлуатації, зокрема:

- оцифрування вихідної картографічної інформації;
- натурне уточнення розподільних мереж;
- визначення навантажень мережі;
- калібрування моделі по контрольних точках.

Що стосується спеціалізованого програмного забезпечення гідравлічного моделювання, наявного на ринку України (PiKOM, Гідра, *City Cloud*, *Mike Urban*, *Bentley gems* тощо), то наскільки відомо, вони не мають такої функціональності. Тому, для

вирішення приведених вище задач доведеться здійснювати експорт інформації і проведення розрахунків безпосередньо з застосуванням *Epanet*. В майбутньому можна очікувати розширення функціональності програмних комплексів в цьому напрямі.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити наступні ключові висновки.

В цілому ГІС та гідравлічні моделі наявні майже для всіх великих систем водопостачання в Україні. Проте в основному вони досить обмежено використовуються для проектування і оптимізації систем через певні нормативні обмеження.

ВИСНОВКИ

Військова ситуація в Україні, зокрема руйнування Каховської греблі, незаперечно підтвердила надзвичайну актуальність розробки планів реагування на ХБРЯ-забруднення, які у перш за все, повинні ґрунтуватися на гідравлічному моделюванні відповідних ситуацій і сценаріїв. До таких сценаріїв відносяться наступні.

1. Незвичайні гідравлічні режими:

- відключення одного (кількох) джерел водопостачання;
- знеструмлення або виведення з ладу насосних станцій;
- переведення окремих районів або всього населеного пункту в режими зменшеного водоспоживання (подача на перший поверх, децентралізоване водопостачання з централізованої системи);

2. Моделювання якості води з погляду ХБРЯ-забруднень на різних стадіях водопостачання:

- через джерело води;
- під час очищення води;
- безпосередньо у розподільній мережі.

Щодо програмного забезпечення, всі ці завдання можуть бути вирішені з використанням безоплатного програмного забезпечення *Epanet*. Спеціалізоване програмне забезпечення зазвичай не має вказаної функціональності, але вона може бути включена в наступні його версії. Крім того, завжди є можливість експортувати дані і використовувати для рішення *Epanet*.

Стосовно вихідних даних, наявна у водоканалах гідравлічна модель, якщо вона

достатньо деталізована і відповідним чином калібрована, може стати достатнім джерелом вихідних даних для проведення всіх досліджень в камеральному режимі.

Для тих систем, які не мають відповідної гідравлічної моделі, першим етапом повинна стати розробка моделі, яка включатиме наступні ключові кроки:

- оцифрування вихідної картографічної інформації;
- натурне уточнення розподільних мереж;
- визначення навантажень мережі;
- калібрування моделі по контрольних точках.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Geleta Ebsa D., Fufa F.** Hydraulic performance Analysis of water supply distribution network using water GEM v8i, Drink. Water Eng. Sci. Discuss. [preprint], 2021. <https://doi.org/10.5194/dwes-2020-34>
2. **Матвієнко О.** Проблеми математичного моделювання систем водопостачання // Scientific Collection «InterConf+», 2022. 26(129), 374–380. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.10.2022.040>
3. **Хомуцька Т., Хоружий В., Недашківська Я., Недашковський І., Нор В.** Імітаційне моделювання систем водопостачання з метою енергозбереження // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 34, 25-36. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.25-36>
4. **Stoianov I., Pecci F., Ulusoy A.-J.** Water Supply Networks with Dynamically Adaptive Connectivity and Hydraulic Conditions: Design and Control, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-8049, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8049>, 2022
5. **Barbosa P. S. F., Graciano A. P.** Optimal Design of Hydraulic Networks for Water Supply // Developments in Civil & Construction Engineering Computing, Civil-Comp Press, Edinburgh, UK, 197-202, 1993. <https://doi.org/10.4203/ccp.15.8.2>
6. **Sitzenfrei R., Rauch W.** Integrated hydraulic modelling of water supply and urban drainage networks for assessment of decentralized options // Water Science and Technology, 2014. 70(11), 1817–1824. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.326>
7. **Sunela M. I., Puust R.** Real Time Water Supply System Hydraulic and Quality Modeling – A Case Study // Procedia Engineering, 2015. 119, 744–752. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.928>

8. **Yang B., Yu G., Wang D.** Hydraulic Calculation Software Development of Water Supply Networks Based on AutoCAD. *ICPTT 2011*. [https://doi.org/10.1061/41202\(423\)166](https://doi.org/10.1061/41202(423)166)

9. **Дупляк В., Величко С., Дупляк О.** Наслідки руйнування каховського водосховища для зрошення та водопостачання півдня України // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023. 44, 19-28. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.19-28>

10. **Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A. et al.** Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure // *Nat Sustain*, 2023. 6, 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>

11. **Кравченко О., Куба Т., Потапенко С., Хоружий В., Аргатенко Т., Бакуновський О.** Планування та організація децентралізованих систем водопостачання у воєнний період в Україні // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 44, 29-39. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>

12. **Sinha A. K., Ghorpade A., Damani O., Kalbar P. P.** Hydraulic modeling approach for evaluating the performance of flow-starved water transmission networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 2022. 72(1), 1–18. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.024>

13. **Yoo D. G., Lee J. H., Lee B. Y.** Comparative Study of Hydraulic Simulation Techniques for Water Supply Networks under Earthquake Hazard // *Water*. 2019, 11, 333. <https://doi.org/10.3390/w11020333>

14. **Olayiwola N., Winters D., Ahmad R., Glover E.** Hydraulic Modeling for Emergency Water Supply and Disaster Planning // *Pipelines*, 2012. <https://doi.org/10.1061/9780784412480.092>

15. **Agathokleous A., Christodoulou S.** Modeling and analysis of urban water distribution networks during intermittent water supply periods // 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Lemesos, Cyprus, 2016, 1-6, <https://doi.org/10.1109/melcon.2016.7495470>

16. **International Committee of the Red Cross.** Chemical, Biological, Radiological and Nuclear response. Introductory guidance. 2014. <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/publications/icrc-002-4175.pdf>

17. **National Protective Security Authority** Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Threats. 2023. <https://www.npsa.gov.uk/chemical-biological-radiological-and-nuclear-cbrn-threats>

REFERENCES

1. **Geleta Ebsa, D., & Fufa, F. (2021)** Hydraulic performance Analysis of water supply distribution network using water GEM v8i, Drink. *Water Eng. Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/dwes-2020-34>
2. **Matvienko, O. (2022).** Problemy matematychno modelyuvannya system vodopostachannya [Problems of mathematical modeling of water supply systems] *InterConf*, 26(129), 374–380. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.10.2022.040>
3. **Khomutetska, T., Khoruzhy, V., Nedashkivska, J., Nedashkovskiy, I., & Nor, V. (2020).** Simulation modeling of water supply systems in order to save energy. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 34. 25–36. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.34.25-36>
4. **Stoianov, I., Pecci, F., & Ulusoy, A.-J. (2022).** Water Supply Networks with Dynamically Adaptive Connectivity and Hydraulic Conditions: Design and Control, *EGU General Assembly 2022*, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-8049, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-8049>, 2022
5. **Barbosa, P.S.F., & Graciano, A.P. (1993)** Optimal Design of Hydraulic Networks for Water Supply. *Developments in Civil & Construction Engineering Computing*. Civil-Comp Press, Edinburgh, UK, 197-202. <https://doi.org/10.4203/ccp.15.8.2>
6. **Sitzenfrei, R., & Rauch, W. (2014).** Integrated hydraulic modelling of water supply and urban drainage networks for assessment of decentralized options. *Water Science and Technology*, 70(11), 1817–1824. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.326>
7. **Sunela, M. I., & Puust, R. (2015).** Real Time Water Supply System Hydraulic and Quality Modeling – A Case Study. *Procedia Engineering*, 119, 744–752. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.928>
8. **Yang, B., Yu, G., & Wang, D. (2011).** Hydraulic Calculation Software Development of Water Supply Networks Based on AutoCAD. *ICPTT 2011*. [https://doi.org/10.1061/41202\(423\)166](https://doi.org/10.1061/41202(423)166)
9. **Dupliak, V., Velychko, S., & Dupliak, O. (2023).** Consequences of the Kakhovka Reservoir destruction for irrigation and water supply of the southern part of Ukraine. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 44, 19-28. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.19-28>
10. **Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov A., Khilchevskiy, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J., &**

Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure // *Nat Sustain*, 2023. 6, 578–586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>

11. Kravchenko O., Kuba T., Potapenko S., Khoruzhy V., Arhatenko T., Bakunovskyi O. (2023). Planning and organization of decentralized systems water supply in the war time in Ukraine. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 44, 29-39. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29-39>

12. Sinha, A. K., Ghorpade, A., Damani, O., & Kalbar, P. P. (2022). Hydraulic modeling approach for evaluating the performance of flow-starved water transmission networks. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 72(1), 1–18. <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.024>

13. Yoo, D. G.; Lee, J. H.; Lee, B. Y. (2019). Comparative Study of Hydraulic Simulation Techniques for Water Supply Networks under Earthquake Hazard. *Water*, 11, 333. <https://doi.org/10.3390/w11020333>

14. Olayiwola, N., Winters, D., Ahmad, R., & Glover, E. (2012). Hydraulic Modeling for Emergency Water Supply and Disaster Planning. *Pipelines* 2012. <https://doi.org/10.1061/9780784412480.092>

15. Agathokleous, A., & Christodoulou, S. (2016). Modeling and analysis of urban water distribution networks during intermittent water supply periods. *18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, Lemesos, Cyprus, 2016, 1-6 <https://doi.org/10.1109/melcon.2016.7495470>

16. International Committee of the Red Cross (2014) Chemical, Biological, Radiological and Nuclear response. Introductory guidance. <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/publications/icrc-002-4175.pdf>

17. National Protective Security Authority (2023) Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Threats. <https://www.npsa.gov.uk/chemical-biological-radiological-and-nuclear-cbrn-threats>

Requirements for hydraulic modeling of wartime water supply networks and for CBRN pollution risk management

Oleksandr Kravchenko, Svitlana Potapenko, Tetiana Kuba, Tetiana Arhatenko

Abstract. Military actions on the territory of Ukraine demonstrated that the termination of centralized water supply can occur both as a result of the direct destruction of water supply facilities, and as a result of power outages, deterioration of water quality at the source, inaccessibility of the water source itself, etc. Therefore, the situation requires the application of completely new approaches to hydraulic modeling, the establishment of new requirements for modeling modes and analysis of the obtained models. Today, the geo-information systems implemented at many Ukrainian water utilities should be used to model adverse scenarios, conduct hydraulic calculations for them, and then determine the optimal ways to improve the situation. There was also a need to conduct hydraulic calculations when developing a response program to chemical, biological, radiation, nuclear (CBRN) water pollution. The analysis of the situation presented in the article allows us to draw a conclusion about the expediency of using Epanet software for this purpose, since specialized software complexes usually do not have the necessary functions. Moreover, for systems that do not have an appropriate hydraulic model, the first stage should be its development, which will include the digitization of the original cartographic information, on-site refinement of distribution networks, determination of network loads, calibration of the model at control points.

Key words: water supply network, hydraulic modeling, military actions, CBRN pollution

Стаття надійшла до редакції 14.10.2023