https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-40
УДК 628.1

НОРИК Віталій
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0009-0007-2825-4394
e-mail: vitalnor@gmail.com
МАРТИНЮК Валерій
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0000-0001-5758-4244
e-mail: martynyuk.valeriy@gmail.com

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА

Дана стаття представляє огляд методів та засобів моніторингу кіберфізичної системи водопостачання міста з метою контролю та оптимізації роботи водопровідних мереж міста, які забезпечують оптимальні та надійні режими роботи обладнання, підбір його технічних параметрів, облік об'ємів споживання та оцінки втрат води, проведення гідравлічних розрахунків - на основі інформації отриманої з сенсорних пристроїв системи.

Ключові слова: кіберфізична система, контроль, оптимізація, водопровідна мережа, сенсорні пристрої, технічні параметри.

NORYK VITALII, MARTYNYUK VALERIY
Khmelnitskyi National University

OVERVIEW OF MONITORING METHODS AND MEANS CYBERPHYSICAL CITY WATER SUPPLY SYSTEM

Today, the problem of water supply occupies a leading place in people's livelihood. The development of urban infrastructure and the growing number require constant improvement of the quality and efficiency of the water supply system. Water supply is a complex system, and in order to effectively fulfill the task of organizing water supply, a mechanism for control, management, analysis of the state, forecasting of events, and decision-making must be created. To date, the available mechanisms do not meet the requirements set by the present in this field of activity. The modern development of information technologies and new types of equipment present specialists with the fact of the need to find new directions for the implementation of tasks set in the field of water supply organization. One of these directions should be the construction of a cyber-physical water supply system (KFSW). However, as the complexity and volumes of data processed by such systems grow, so does the importance of their reliable monitoring and control. That is why the choice of methods and means of monitoring the cyber-physical systems of the city's water supply becomes an urgent problem that requires attention and research.

Taking into account the indicated problems, the question arises of the optimal choice of means and monitoring methods for each specific model of the city's cyber-physical water supply system.

This article presents an overview of the methods and means of monitoring the cyber-physical system of the city's water supply in order to control and optimize the operation of the city's water supply networks, which ensure optimal and reliable modes of operation of the equipment, selection of its technical parameters, accounting of consumption volumes and estimation of water losses, conducting hydraulic calculations - based on the information received from the sensor devices of the system.

Keywords: cyberphysical system, control, optimization, water supply network, sensor devices, technical parameters.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день проблема водопостачання займає провідне місце у життєзабезпеченні людей. Розвиток інфраструктури міст та зростаюча кількість потребують постійного підвищення якості та ефективності роботи системи водопостачання. Водопостачання це складна система і для ефективного виконання завдання по організації постачання води має бути створено механізм контролю, управління, аналізу стану, прогнозування подій, прийняття рішень. На сьогоднішній день наявні механізми не задовольняють тих вимог, які ставить сьогодення в цій сфері діяльності. Сучасний розвиток інформаційних технологій та нові види обладнання ставлять спеціалістів перед фактом необхідності пошуку нових напрямків виконання завдань поставлених в сфері організації водопостачання. Одним з цих напрямків має стати побудова кіберфізичної системи водопостачання (КФСВ). Однак з ростом складності та об'ємів даних, що обробляються такими системами, зростає і важливість їхнього надійного моніторингу та контролю. Саме тому вибір методів та засобів моніторингу кіберфізичних систем водопостачання міста стає тією актуальною проблемою, яка потребує уваги та досліджень.

Зважаючи на вказану проблематику, постає питання оптимального вибору засобів та методів моніторингу для кожної конкретної моделі кіберфізичної системи водопостачання міста.

Аналіз досліджень та публікацій

Кіберфізичні системи водопостачання, враховуючи революційний розвиток інформаційних технологій, інтенсивно розвиваються, удосконалюються їх методи та засоби моніторингу. Враховуючи такий стан речей цікавою є робота [1] в якій представлено концепцію кіберфізичної системи у контексті водопостачання, досліджується її застосування для моніторингу системи водопостачання. Крім того, описано різноманітні застосування КФСВ і вимоги до області застосування, визначаються ключові проблеми, окреслюються сфери вдосконалення для подальших досліджень.

Інтерес викликає створення та впровадження в системи моніторингу якості води композитних датчиків - пристроїв, що дозволяють проводити декілька вимірювань [2], [5].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є огляд методів та засобів засобів контролю якості води, обліку води в кіберфізичній системі водопостачання міста.

Виклад основного матеріалу

Кіберфізична система водопостачання в своїй складовій повинна охоплювати, як повністю так і частково, такі елементи :

- облік піднятої води, облік поданої води споживачу;
- транспортування води, гідравлічний контроль, виявлення втрат води;
- контроль якості води;
- збір даних, аналіз даних, зберігання даних;
- контроль та управління роботою технологічного обладнання;
- контроль доступу до будівель та споруд;
- облік електроенергії;
- охорона об’єктів, протипожежна безпека;
- інформаційна та кібербезпека.

Кожен з перелічених елементів передбачає використання різного роду обладнання та технологій показники яких необхідно контролювати, відслідковувати. Це завдання вирішує система моніторингу.

Система моніторингу водопостачання - комплекс технологій і обладнання, призначений для збору, аналізу та відстеження різних параметрів і показників, пов'язаних із системою постачання води. Вона має забезпечити роботу обладнання, збір, передачу, накопичення даних для аналізу, для кожного елемента КФСВ, який має власні засоби та методи моніторингу і які можуть бути спільними або дублюватись.

Засоби моніторингу кіберфізичної системи водопостачання включають в себе обладнання, яке використовуються для збору даних, відстеження та контролю за станом системи водопостачання в режимі реального часу, а саме:

- датчики, серед яких - аналогові датчики тиску, аналогові датчики рівня води, дискретні датчики рівня води, датчики для систем охорони та протипожежної системи, промислові лічильники води (також містять датчики миттєвих витрат води, з можливістю дистанційної передачі даних), аналізатори електричної мережі, відеокамери для відео нагляду;
- обладнання телекомунікаційної інфраструктури для передачі даних в режимі реального часу;
- обладнання на якому побудована система централізованого збору та обробки даних, яка приймає і аналізує інформацію, що надходить від датчиків;
- спеціалізоване програмне забезпечення для збору, обробки та аналізу даних, формування звітів;
- програмно-апаратні засоби візуалізації;
- обладнання систем автоматизації та управління.

Методи моніторингу кіберфізичної системи водопостачання включають в себе різні підходи та технології для виконання вимірювань, збору, відстеження, передачі даних їх аналіз та способи візуалізації, прогнозування та прийняття рішень. Вони формують структуру побудови системи моніторингу та передбачають використання аналітичних методів для виявлення аномалій, прогнозування можливих проблем і оптимізації роботи системи водопостачання. Методи допомагають забезпечити ефективний контроль та управління кіберфізичною системою водопостачання, покращити її надійність і ефективність, а також зменшити ризики аварій і витрати на обслуговування.

1. Огляд методів та засобів моніторингу та рішення які пропонуються

Геологічна служба США (USGS - United States Geological Survey), володіє інформацією про стан та показники якості водних ресурсів в США [2]. Інформація отримується з більш 7000 станцій контролю поверхневих вод; станцій контролю та реєстрації рівня ґрунтових вод і включає в себе дані про якість води озер, лиманів, підземних вод, струмків. Звичайний забір проб на таких станціях проводиться періодично, а в режимі реального часу - на більше 1300 станціях з використанням системи контролю якості води в

реальному часі - RTWQ (Real-Time Water Quality). На рис. 1 зображено пробовідбірна станція, датчик якості води та схема передачі даних датчиків системи RTWQ [2].

Рис. 1. Пробовідбірна станція, датчик якості води, схема передачі даних датчиків системи RTWQ

Завдання RTWQ - передача та доступність інформації в Інтернеті щодо якості водних ресурсів у Сполучених Штатах [3]. Інтервал опитування пристроїв системи лежить в межах від 5 хвилин до 1 години, цей процес є безперервним і його результати стають доступними в Інтернеті в режимі, що дуже близький до реального часу. Швидкість отримання інформації про якість води в режимі реального часу забезпечується завдяки вдосконаленим датчикам (Рис.2), технологіям запису та передачі даних через супутник до офісів USGS.

Рис. 2. Багатометричний монітор, який використовується для запису вимірювань якості води

Датчики забезпечують вимірювання таких параметрів як: питому провідність, pH, температуру води, каламутність, розчинені кисень та нітрати. Крім того є такі датчики, які вимірюють частину електромагнітного спектру (світла), що вказують на адсорбцію або розсіювання (каламутність, хлорофіл, нітрати та флуоресценція) або звук (акустична доплерівська технологія). Також доступні вбудовані хімічні аналізатори та портативні польові лабораторії для нітратів і фосфору.

Система управління водопостачання Сенегалу [4]. Будівництво системи управління водопостачанням, який реалізовує дочірня компанія Yokogawa Solution Service Corporation фірми Yokogawa Electric Corporation разом із Toyota Tsusho Corporation на замовлення Societe Nationale Des Eaux Du Senegal (Національна водна компанія Сенегалу), в рамках проекту з опріснення морської води Mamelles, передбачає створення ряду систем моніторингу, а саме - системи моніторингу водопровідної мережі, системи управління витоками води, системи дистанційного моніторингу районної вимірювальної зони, побудова яких має стабілізувати водопостачання та покращити обслуговування в усьому регіоні Дакар (Рис. 3).

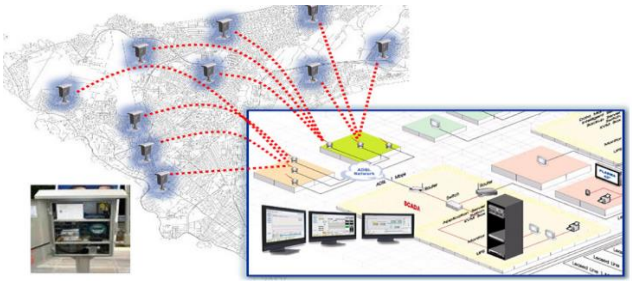

Рис. 3. Система управління водопостачанням та вимірювальні прилади [4]

Враховуючи те, що близько 80% промислової діяльності Сенегалу відбувається в Дакарі і цьому населення міста зростає, окрім пошуку способів забезпечення безпечного водопостачання цього міста, Сенегал шукає рішення для диверсифікацією джерел постачання та зменшенням втрат води через витоки. Yokogawa Solution Service встановить датчики для збору даних про витрати та тиск у приблизно 200 місцях водопровідної мережі Дакара та побудує систему керування водопостачанням, яка здатна виявляти витоки води та інші подібні проблеми. Це сприятиме досягненню цілей проекту, які передбачають досягнення

щонайменше двох мільйонів тонн скорочення щорічних втрат води, спричинених витоками у водопровідній мережі, а також збільшення 24-годинної швидкості водопостачання з поточний 70% до 100%.

Інноваційний онлайн-моніторинг якості води в мережах питного водопостачання – на базі системи, що пропонується компанією «Pipe scan» (Відень, Австрія) [5].

В водопостачанні, крім безперебійного транспортування, має бути забезпечена і висока якість води для споживачів, яка на сьогоднішній день контролюється за допомогою лабораторних аналізів, що періодично проводяться через визначені проміжки часу.

Такий підхід є повільним та дорогим, він обмежує можливість охоплення системою відбору проб великих ділянок водо мережі, так як зразки потрібно відбирати, транспортувати та аналізувати щодня, щотижня або щомісяця, і через повільну динаміку виконання великої кількості аналізів, випадки зараження, часто можуть бути майже не виявлені або не виявлені взагалі.

Щоб водопостачальні організації мали можливість не залежати від такого порядку відбору проб, охопити контролем більші ділянки водомереж, компанія «Pipe scan» пропонує побудову системи моніторингу якості води Multiple pipe scans (Рис. 4) на базі «Pipe scan» системи онлайн-датчиків (Рис.5), щоб можна було реагувати на проблеми, пов'язані з якістю води в їхній мережі розподілу питної води, у режимі реального часу.

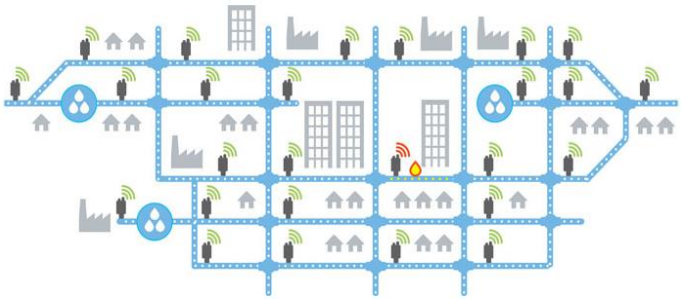

Рис 4. Система моніторингу якості води Multiple pipe scans побудована на використані «Pipe scan» онлайн-датчиків

Система Multiple pipe scans це рішення для моніторингу якості питної води в водопровідній мережі. Такі рішення реалізовано в розподільних мережах в багатьох великих містах Європи.

Pipe scan сенсорна система, яка забезпечена такими унікальними функціями:

- точні вимірювання в повній відповідності зі стандартизованими лабораторними посиланнями;
- контроль до 10 параметрів в одній систем;
- безперервний моніторинг органічних речовин (TOC, DOC, UV254, UVT), каламутності, кольору, pH/Redox, EC, тиску та температури;
- повністю незалежна від потоку, працює навіть в умовах відсутності руху в мережі питної води;
- «Технічне обслуговування в гарячому стані» під тиском: без переривання потоку/тиску та індивідуально для кожного датчика;
- повномасштабне виявлення подій із сигналізацією в реальному часі;
- 6-місячний інтервал технічного обслуговування: ефективна, надійна, автономна робота з мінімальним обслуговуванням.

Pipe scan датчик - це сенсорна система для відслідковування якості води. Пристрій монтується на трубах під тиском за допомогою пристроїв трубних сідел Hawle (DN100 – DN 600) та вимірють до 10 параметрів: органічні параметри (TOC, DOC, UV254/UVT), каламутність, колір, хлор, pH/redox, електропровідність, температура та тиск.

Рис. 5. Pipe scan - система датчиків для контролю якості питної води в трубах під тиском

Збір інформації з датчиків забезпечується терміналом Con cube (Рис. 6). Con cube - це термінал контролю та збору він є універсальним та компактним, він забезпечений технологіями, що дозволяють

забезпечити його підключення до систем SCADA та баз даних. Пристрій обладнаний вбудованим модемом та має низьке енергоспоживання і відповідає всім вимогам для роботи в децентралізованих місцях встановлення.

Рис 6. Con cube - термінал контролю та збору даних

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Моніторинг кіберфізичної системи водопостачання міста відіграє важливу роль у забезпеченні її надійності та ефективності. Застосування сучасних методів та засобів моніторингу дозволяє оперативно виявляти проблеми та підтримувати систему в оптимальному режимі роботи. У даній статті було надано деякі приклади методів та засобів, що використовуються в світі для моніторингу якості води та стану мереж водопостачання, які можуть бути використані як основа для побудови конкретної моделі кіберфізичної системи.

Література

1. Adedeji KB, Hamam Y. Кіберфізичні системи для управління мережами водопостачання: основи, проблеми та дорожня карта. Sustainability. 2020; 12(22):9555
2. Геологічна служба США (USGS - United States Geological Survey): [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://water.usgs.gov/.
3. Система контролю якості води в реальному часі: [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://waterwatch.usgs.gov/wqwatch/faq?faq_id=1.
4. Система управління водопостачання Сенегалу: [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.yokogawa.com/news/press-releases/2021/2021-10-21/.
5. Система онлайн-моніторингу якості води Multiple pipe::scans (Pipe::scan, Відень, Австрія): [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.s-can.at/en/innovative-online-water-quality-monitoring-in-drinking-water-networks-the-pipescan/.

References

1. Adedeji KB, Hamam Y. Cyber-Physical Systems for Water Supply Network Management: Basics, Challenges, and Roadmap. Sustainability. 2020; 12(22):9555
2. United States Geological Survey (USGS): [Electronic resource] – Access mode: http://water.usgs.gov/.
3. Water quality control system in real time: [Electronic resource] – Access mode: https://waterwatch.usgs.gov/wqwatch/faq?faq_id=1.
4. Senegal's water supply management system: [Electronic resource] – Access mode: https://www.yokogawa.com/news/press-releases/2021/2021-10-21/.
5. System of online water quality monitoring Multiple pipe::scans (Pipe::scan, Vienna, Austria): [Electronic resource] – Access mode: https://www.s-can.at/en/innovative-online-water-quality-monitoring-in-drinking-water-networks-the-pipescan/.