Сучасні підходи та методи підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення

Олександр Кравчук, к.т.н., доцент[1] (ORCID: 0000-0001-6578-8896), **Богдан Кострич**, студент[1] (ORCID: 0009-0005-4515-6943)

[1] *Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна*

АНОТАЦІЯ

Представлено дослідження та аналіз сучасних підходів та методів, які можуть бути застосовані для підвищення енергоефективності роботи насосних станцій систем водопостачання та водовідведення, що є особливо актуальним в умовах обмеженого доступу до енергоресурсів та руйнації критичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. Підкреслено важливість комплексного підходу до застосування енергоефективних заходів для зменшення споживання енергоресурсів та підвищення надійності роботи зазначених систем.

Ключові слова: насос, насосна станція, водопостачання, водовідведення, енергоефективність.

1. ВСТУП

Насосні станції є критично важливим елементом систем водопостачання та водовідведення, який забезпечує стабільну подачу та відвід води для населення, промислових об’єктів та сільськогосподарських угідь [1]. Однак їх експлуатація є досить енергоємною, адже майже 21% споживаної електроенергії в світі припадає саме на насосні агрегати [2]. Тому в умовах зростання цін на енергоресурси та необхідності раціонального використання електроенергії питання підвищення енергоефективності насосних станцій є надзвичайно актуальним [3]. А в умовах війни та кризових ситуацій ця проблема набуває ще більшого значення, оскільки Україна стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з руйнуванням критичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. Системи водопостачання та водовідведення, зокрема насосні станції, часто стають об'єктами прямих атак або страждають через пошкодження енергетичних ліній [4]. У цих надзвичайних умовах необхідно шукати нові технологічні рішення, які б дозволили забезпечити стабільну та енергоефективну роботу насосних станцій та систем водопостачання та водовідведення в цілому, навіть під час обмеженого доступу до ресурсів [5].

2. МЕТА

Метою роботи є дослідження та аналіз сучасних підходів та методів, які можуть бути застосовані для підвищення енергоефективності роботи насосних станцій, а також сприяти розвитку практичних рекомендацій для покращення управління системами водопостачання та водовідведення у сучасних умовах.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підвищення енергоефективності роботи насосних станцій може значно знизити витрати на електроенергію та підвищити загальну ефективність роботи системи. Розглянемо основні підходи та методи для вирішення даної проблеми.

3.1. Використання енергоефективних насосів

Одним з перших кроків до підвищення енергоефективності є встановлення сучасних насосів з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Насоси старого зразка часто працюють на повну потужність незалежно від потреб системи, що призводить до надмірного споживання енергії. Сучасні насоси оснащені вдосконаленими робочими колесами та лопатями зі спеціально розрахованими аеродинамічними профілями, а також покращеними конструкціями всмоктувальних і напірних частин. Це дозволяє зменшити тертя та гідравлічні втрати, підвищити ефективність перекачування води. Новітні технології дозволяють зменшити турбулентність і завихрення в насосі, що також сприяє підвищенню ККД. Зараз насоси виготовляються з високоякісних матеріалів, які стійкі до корозії та зносу, що забезпечує тривалу роботу та підтримку високої ефективності протягом усього терміну експлуатації.

3.2. Застосування частотних перетворювачів

Одним з найефективніших сучасних рішень для регулювання роботи насосних станцій є частотні перетворювачі, які значно підвищують їх енергоефективність. Зазначені пристрої змінюють частоту електричного струму, який подається на електродвигун насоса. Це дає можливість регулювати швидкість обертання ротора двигуна та, відповідно, продуктивність роботи насосів, що дозволяє оптимізувати їхню роботу в залежності від поточних потреб системи. Тобто, коли попит на воду знижується або тиск у системі змінюється, частотний перетворювач дозволяє насосу працювати на нижчих обертах, що зменшує споживання електроенергії на 30-50%.

Частотні перетворювачі дозволяють насосу запускатись і зупинятись поступово, що знижує механічні навантаження і зношування частин насоса та електродвигуна, мінімізує ризик аварійних ситуацій і подовжує термін роботи обладнання. Також вони зменшують пікові навантаження на електромережу, що сприяє більш ефективному використанню енергоресурсів і зниженню витрат на енергію для комунальних підприємств.

Для великих водопровідних систем, де попит на воду може суттєво варіюватися протягом доби та днів тижня,

частотні перетворювачі забезпечують плавне регулювання подачі води. Це також дозволяє уникнути стрибків тиску, що позитивно впливає на довговічність трубопроводів і зменшує ризики аварій.

У системах водовідведення частотні перетворювачі також допомагають підтримувати ефективність перекачування стічних вод. Вони знижують навантаження на насоси в періоди, коли кількість стоків є невеликою, і підвищують їх продуктивність під час пікових навантажень.

3.3. Автоматизація і оптимізація роботи насосів

Автоматичні системи керування дозволяють точно регулювати роботу насосів залежно від реальних потреб системи водопостачання в реальному часі. Наприклад, у години мінімального споживання системи насоси можуть працювати зі зниженою потужністю, а під час пікових навантажень – на максимальних параметрах. Це значно зменшує енергоспоживання, експлуатаційні витрати та зношення обладнання, а також підвищує надійність водопостачання і запобігає перепадам тиску та перебоям у подачі води.

Інтелектуальні системи можуть легко адаптуватися до змінюваних умов і потреб, що дозволяє системі швидко реагувати на зміну попиту і зростання або зменшення кількості споживачів.

Але на практиці впровадження автоматизованих систем керування насосами в системах водопостачання та водовідведення вимагає ретельної підготовки та може стикатись з певними складнощами: інтеграція нових технологій з існуючою інфраструктурою може бути технічно складною і вимагати значних зусиль; високі початкові витрати можуть бути перепоною для впровадження; необхідність змін в управлінських процесах та додаткове навчання персоналу. Крім того, збір і обробка даних, забезпечення кібербезпеки та можливі фізичні обмеження також можуть ускладнити цей процес.

3.4. Зниження гідравлічних втрат у системі

Гідравлічні втрати у системах водопостачання та водовідведення можуть суттєво впливати на енерговитрати насосних станцій. Засмічені, корозійно зношені або невірно запроєктовані трубопроводи створюють додатковий опір потоку води, змушуючи насоси працювати з підвищеною потужністю. Для зниження цих втрат необхідно регулярно проводити технічне обслуговування системи, очищати труби, ремонтувати або замінювати застарілі елементи. Також важливо оптимізувати проєктування нових трубопроводів, використовуючи гладкі матеріали та мінімізуючи кількість місцевих опорів.

3.5. Використання акумулюючих ємностей для води

Акумулюючі ємності та резервуари для води можуть допомогти збалансувати роботу насосних станцій. Вони накопичують воду під час низького споживання і використовують її у пікові години, знижуючи навантаження на насоси. Це дозволяє уникнути різких коливань у споживанні електроенергії та зменшити пікові навантаження на енергосистему.

3.6. Енергетичний аудит та моніторинг

Регулярний енергетичний аудит дозволяє виявити слабкі місця в роботі насосних станцій та розробити заходи для підвищення їх енергоефективності. Важливо також впроваджувати системи моніторингу, які дозволяють відстежувати споживання енергії в реальному часі. Це допоможе вчасно реагувати на відхилення від норми та оптимізувати роботу всієї системи.

3.7. Використання відновлювальних джерел енергії

Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітряні турбіни, для живлення насосних станцій є перспективним рішенням для зменшення залежності від традиційних джерел енергії. Наприклад, насосні станції можуть використовувати електроенергію, вироблену сонячними панелями, у денний час, коли споживання води є найвищим. Це дозволить знизити навантаження на енергосистему у пікові години та загальні витрати на електроенергію.

4. ВИСНОВКИ

Сучасні підходи до підвищення енергоефективності насосних станцій систем водопостачання та водовідведення включають використання енергоефективних насосів з частотними перетворювачами, інтеграцію автоматизованих систем керування, постійний моніторинг та аудит, зниження гідравлічних втрат в системі, використання акумулюючих ємностей та відновлювальних джерел енергії. Незважаючи на те, що впровадження цих рішень може бути коштовним і складним через технічні та організаційні перешкоди, їх комплексне застосування суттєво знижує витрати на енергоресурси та покращує надійність роботи вказаних систем.

Список літератури

[1] Строкаль В.П., Ковпак А.В. Воєнні конфлікти та вода: наслідки й ризики. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2022. Т. 5, Вип. 44. С. 94-102. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.14

[2] Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang, W. (2022). Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 11592-11606. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.016

[3] Хомутецька Т., Хоружий В., Недашківська Ю., Недашківський І., Нор В. Імітаційне моделювання роботи водопровідних систем з метою енергозбереження. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2020. Вип. 34. С. 25-36. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2018.29.6-12

[4] Кравчук О., Андріященко О., Левітін В., Єремченко Л., Лаврухіна К. Рекомендації щодо особливостей роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення в період воєнних дій. *Містобудування та територіальне планування*. 2024. Вип. 85. С. 268-276. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.85.268-276

[5] Кравченко О., Хоружий В., Каніболоцький В. Особливості експлуатації систем питного водопостачання в умовах воєнного часу. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. Вип. 38. С. 18-37. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.18-37.