

УДК 556.3:628.1.033.2

РОЛЬ ПОВІТРЯНИХ БАР'ЄРІВ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОДОСХОВИЩ

Коломоєць Є. М.¹, студ., Нестеров Я. С.², асист.

ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету науки і технологій

[1 20050-vv.kolomoiets@365.pdaba.edu.ua](mailto:20050-vv.kolomoiets@365.pdaba.edu.ua), [2 15013.nesterov@365.pdaba.edu.ua](mailto:15013.nesterov@365.pdaba.edu.ua)

Постановка проблеми. Сучасні виклики у сфері водопостачання, пов'язані зі зміною клімату, виснаженням поверхневих джерел та підвищеним антропогенним навантаженням, зумовлюють необхідність пошуку ефективних і надійних рішень для зберігання та захисту водних ресурсів. Підземні водосховища дедалі частіше розглядаються як стратегічна альтернатива традиційним відкритим водоймам завдяки їхній здатності забезпечувати довготривале зберігання води з мінімальними втратами від випаровування та забруднення [1].

Метою дослідження є обґрунтування доцільності застосування повітряних бар'єрів як інженерного рішення для підвищення ефективності функціонування підземних водосховищ, зокрема шляхом зменшення фільтраційних втрат, локалізації потенційного забруднення та покращення якості збереженої води.

Одним із інноваційних підходів до підвищення ефективності таких систем є використання повітряних бар'єрів – гідротехнічних рішень, що базуються на створенні зон із підвищеним тиском повітря для контролю руху підземних вод. Ці бар'єри дозволяють регулювати фільтраційні потоки, запобігати втратам води та локалізувати зони потенційного забруднення [2].

Повітряний бар'єр утворюється шляхом подачі стисненого повітря в зону водоносного горизонту через спеціально встановлені перфоровані труби або дифузори. Це спричиняє утворення бульбашкового шару, який суттєво змінює гідродинамічні умови в породи, створюючи перешкоду для руху води або забруднювальних речовин.

Технічна реалізація повітряного бар'єра потребує врахування гідрогеологічних характеристик середовища, таких як пористість, коефіцієнт фільтрації, ступінь насичення тощо. Впровадження бар'єра передбачає точне моделювання повітряного тиску, рівномірність подачі повітря по довжині та стабільність утворення бар'єрної зони [3].

Проведені дослідження свідчать, що повітряні бар'єри здатні знижувати фільтраційні втрати води в підземних водосховищах на 20–40 % у залежності від типу ґрунту та рівня напору [5]. Крім того, повітряні бар'єри: сприяють покращенню якості води завдяки аерації середовища; перешкоджають проникненню забруднювачів, зокрема нафтових продуктів, важких металів, хлоридів та нітратів; підтримують оптимальні умови для біологічної деградації органічних домішок; можуть бути вимикаються або коригуються в залежності від змін гідродинамічного режиму [4].

Особливо ефективним є застосування повітряних бар'єрів у прибережних зонах для запобігання засоленню прісноводних водоносних горизонтів, що актуально для регіонів з інтенсивним водозабором або інфільтраційним поповненням [5].

Е країнах ЄС та США повітряні бар'єри активно застосовуються в рамках систем інженерної гідрогеологічної ізоляції. Наприклад, у штаті Аризона (США) створено систему підземного зберігання води з впровадженням повітряним бар'єром для зменшення втрат води в піщано-гравійних породах [6].

У Нідерландах, які мають значний досвід боротьби із засоленням, повітряні бар'єри застосовуються у поєднанні з барражами для утримання прісної води у внутрішніх ділянках дюнного узбережжя [7].

Для оцінки ефективності повітряних бар'єрів застосовуються чисельні методи моделювання. Найпоширеніші програмні пакети: MODFLOW + MT3DMS – для моделювання фільтраційного потоку та переносу речовин; FEFLOW – для побудови просторово-часових моделей, що враховують температурні та тискові впливи; HYDRUS 2D/3D – для аналізу насичених і ненасичених зон у пористому середовищі [8].

Наприклад, згідно з моделями, виконаними у HYDRUS для умов піщаного горизонту з коефіцієнтом фільтрації 5 м/добу, впровадження повітряного бар'єра дозволило зменшити втрати води на 32 % за умови підтримання тиску 0,5 атм. протягом 8 годин на добу [9].

Для гідрогеологічних умов України повітряні бар'єри можуть бути особливо ефективними : у піщаних та супіщаних відкладах Полісся; в алювіальних відкладах долин Дніпра, Дністра, Південного Бугу; для захисту водозаборів від техногенного забруднення в межах великих міст (наприклад, Київ, Харків, Дніпро) [10].

Також доцільне застосування бар'єрів у системах штучного поповнення підземних вод, коли необхідно забезпечити утримання закачаної води в заданому об'ємі та запобігти неконтрольованому розповсюдженню в горизонт.

Результати дослідження. Повітряні бар'єри є ефективним та гнучким інженерним рішенням для покращення експлуатаційних характеристик підземних водосховищ. Вони дозволяють мінімізувати втрати води, запобігти забрудненню та підвищити рівень контролю над гідрогеологічними процесами. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на адаптацію конструктивних рішень до специфічних умов різних регіонів України та на розробку рекомендацій з їх проектування та експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лазуренко В. В., Гринько Ю. І. Можливості застосування підземних водосховищ в умовах зміни клімату. *Вісник НУБГП*. 2021. №3 (95). С. 102–109.
2. Zhang H., Li L., Barry D. A. Air injection barriers for seawater intrusion control in coastal aquifers. *Advances in Water Resources*. 2019. Vol. 133. Article ID 103417.
3. Tiwari B., Sharma S. Assessment of air sparging systems for groundwater remediation in unconfined aquifers. *Water Practice and Technology*. 2021. Vol. 16 (3). Pp. 821–832.
4. Albers C. N., Jacobsen O. S. Air injection for control of contaminant migration in aquifers. *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 493. Pp. 643–650.
5. Rein A., Popp T. Air-barrier technology for protecting freshwater lenses : case study in the Netherlands. *Hydrogeology Journal*. 2016. Vol. 24 (2). Pp. 383–397.
6. Bouwer H. Managed aquifer recharge: design and evaluation of recharge systems. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2017. Vol. 22 (2). P. 04016065.
7. Xu Y., Usher B. Groundwater pollution in Africa. London : CRC Press, 2019. 424 p.
8. Šimůnek J., van Genuchten M. T., Šejna M. Recent developments and applications of the HYDRUS computer software packages. *Vadose Zone Journal*. 2016. Vol. 15 (7). Article ID vzt2016.04.0033.
9. Коваль О. І. Гідрогеомоделювання ефективності повітряного бар'єру в піщаному горизонті. *Вісник екології та безпеки*. 2023. №2 (30). С. 44–52.
10. Климчук А. М., Козловська О. Ю. Підземні водозабори України : стан, загрози та перспективи. *Наукові праці УкрДГРІ*. 2022. № 1. С. 74–80.