

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 624.131.23:627.52:504.06

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-1>

ЗАХИСТ БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ ВІД ШКІДЛИВОЇ ДІЇ ВОД ШЛЯХОМ ВОДОЗНИЖЕННЯ

Семеняка Ірина Петрівна,

керівник інженерних проєктів

ТОВ «НВО «Трансінжиніринг»

ORCID ID: 0000-0002-9610-2401

Максимова Наталія Миколаївна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

ORCID ID: 0000-0003-1684-7479

За рекомендаціями нормативно-технічної літератури діяльність із забезпечення інженерного захисту забудови та територій від підтоплення належить до природоохоронних видів господарської діяльності. Одним з методів ефективного водозниження є облаштування голкофільтрів за різними схемами, які можуть використовуватись і як самостійний захід, і як додатковий, зокрема в умовах щільної забудови, на ділянках виникнення баражного ефекту та/або виходу напірних ґрунтових вод у заглиблені конструкції тощо. Метою дослідження є аналіз доцільності впровадження голкофільтрувальної установки як додаткового заходу з водозниження по периметру котловану під будівництво насосної станції та прилеглої території для підвищення надійності виконання робіт. На підставі аналітичних досліджень доведено можливість використання голкофільтрувальної установки як додаткового заходу з водозниження по периметру будівельного майданчику. Передбачення спеціального технічного заходу підвищить надійність основних водознижувальних робіт, а саме тимчасового відведення русла річки із застосуванням шпунтового огороження. Розрахунково визначені основні показники водознижувальної системи, яка сприятиме створенню оптимальних умов для виконання будівельних робіт та може застосовуватись під час експлуатації зведених споруд. Наведено алгоритм розрахунку основних параметрів водознижувальної системи, зокрема визначено загальну витрату вод з урахуванням опадів. За умови врахування фактичної гідрогеологічної ситуації дотримання вимог до розроблення котлованів, створення та експлуатації заглиблених конструкцій за високого рівня ґрунтових вод можна ефективно використовувати голкофільтрувальну установку як додатковий метод, спрямований на підвищення надійності водозниження в місці влаштування, що розглянуто на прикладі котловану насосної станції та прилеглої до нього території.

Ключові слова: рівень ґрунтових вод, гідрогеологічні умови, водозниження, голкофільтри, інженерний захист від підтоплення та затоплення.

Semeniaka Iryna, Maksymova Nataliia. Protection of construction sites from the harmful effects of water through water reduction

According to the recommendations of regulatory and technical literature, activities to ensure the engineering protection of buildings and territories from flooding are classified as environmental protection activities. One of the methods of effective water reduction is the installation of needle filters according to various schemes, which can be used as an independent measure or as an additional one, in particular in conditions of dense development, in areas where a dam effect occurs and/or pressurized groundwater enters deep structures, etc. According to the recommendations of regulatory and technical literature, activities to ensure the engineering protection of buildings and territories from flooding are classified as environmental protection activities. One of the methods of effective water reduction is the installation of needle filters according to various schemes, which can be used as an independent measure or as an additional one, in particular in conditions of dense development, in areas where a dam effect occurs and/or pressurized groundwater enters deep structures, etc. The purpose of the research is to analyze the feasibility of installing a needle filter unit as an additional measure for water reduction around the perimeter of the excavation site for the construction of a pumping station and the adjacent territory to increase the reliability of the work. Based on analytical studies, the possibility of using a needle filtration unit as an additional measure for water reduction around the perimeter of the construction site has been proven. The provision of a special technical measure will increase the reliability of the main dewatering works, namely the temporary diversion of the river channel using sheet piling.

The main parameters of the dewatering system have been calculated, which will contribute to the creation of optimal conditions for the performance of construction works and can be used during the operation of the completed structures. An algorithm for calculating the main parameters of the water lowering system is presented, in particular, the total water consumption is determined taking into account precipitation. Taking into account the actual hydrogeological situation, compliance with the requirements for the development of excavations, the development and operation of deep structures at a high groundwater level, it is possible to effectively use a needle filtration unit as an additional method aimed at increasing the reliability of water drainage at the installation site, which is considered on the example of the excavation of a pumping station and the adjacent territory.

Key words: groundwater level, hydrogeological conditions, water reduction, needle filters, engineering protection against flooding and inundation.

Вступ. За даними Національної доповіді про стан довкілля в Україні, підготовленої Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України за 2021 р., площа підтоплення сягала 88,82 тис. км². Підйом рівнів ґрунтових вод та стійке порушення природного режиму зволоження ґрунтів розвивається як у природних умовах, тобто за умови непорушення балансу ґрунтових вод, так і під впливом техногенних чинників. Залежно від основних джерел і чинників впливу на розвиток екзогенного геологічного процесу, виділяють три типи підтоплення: природне, природно-техногенне, техногенне.

Згідно з ДБН В.1.1-24:2009, до основних природних умов, які сприяють розвитку процесів підтоплення, належать наявність слабопроникних ґрунтів і прошарків, відносно близьке розташування водотривкого шару, слабка дренаваність територій. На забудованих територіях до природних факторів додається техногенний вплив.

Так, в умовах щільної забудови спостерігаються суттєві зміни умов формування поверхневого і підземного стоку, порушується характер гідравлічного зв'язку поверхневих і підземних вод, а також водоносних горизонтів між собою [1; 2]. Наприклад, під час проєктування і будівництва об'єктів, особливо з розвинутою підземною частиною, слід передбачати комплекс заходів щодо захисту від впливу підземних вод на будівельний та експлуатаційний періоди.

За даними [3], розрізняють метеорологічні, іригаційні, гідрогеологічні, організаційно-господарські та інші фактори формування водного режиму ґрунтів. На думку В. Малєєва і В. Безпальченко, згубно впливає на ситуацію відсутність просторового аналізу та моделювання процесів підтоплення.

За рекомендаціями п. 1.3 ДБН В.1.1-24:2009, діяльність із забезпечення інженерного захисту від підтоплення належить до природоохоронних видів господарської діяльності.

Необхідність зниження рівнів ґрунтових вод виникають і під час будівельних робіт. Наприклад, поширеним практичним завданням є осушення будівельних котлованів за умови їх

розроблення нижче рівня води. Подібне практичне завдання виникало й під час побудови водозабору з річки з поруч розташованою насосною станцією першого підйому підкачки [4]. Однак необхідність осушення котловану може виникати не лише у період виконання будівельних робіт, але й інколи після побудови об'єкта. Як загальновідомо, осушувати котловани можна різними методами залежно від властивостей ґрунтів, їх коефіцієнтів фільтрації, глибини котлованів відносно рівня вод та промислових умов. В практиці застосовують такі основні методи осушення котлованів, як відкритий водовідлив, дренаж, водопонижувальні свердловини, голкофільтри, електроосмос [5].

Як зазначається у ДБН В.2.1-10:2018, під час будівництва рівень ґрунтових вод може бути знижений поверхневим, підземним і комбінованими способами. При цьому розрізняють попереднє водозниження, за якого осушення ділянки здійснюють до початку робіт, і паралельне – роботи з водозниження та розроблення котловану здійснюють одночасно [6].

Якщо не вжити відповідних заходів з керування та контролю, ґрунтові води можуть спричинити проблеми для земляних робіт та самих підземних споруд [7]. Ці проблеми можуть варіюватися від незначного водопритоку у виїмку, що знижує ефективність будівельних робіт, до значних водопритоків, які можуть призвести до нестабільності, затоплення і навіть обвалення виїмки. За даними [7], основними методами, які забезпечують видалення ґрунтових вод з глибоких виїмок, є такі: пряме осушення – безпосереднє відкачування води, яка проникає через стінки і підшву виїмки; непряме водовідведення – загальне зниження рівня ґрунтових вод, через систему голчастих фільтрів або водовідливних свердловин, які виконуються до початку земляних робіт; досягнення водонепроникного бар'єру, що запобігає проникненню ґрунтових вод у котлован. Наведені роботи з осушення забезпечують можливість виконання сухих земляних робіт нижче рівня ґрунтових вод.

Ефективність застосування голкофільтрів для умов локального осушення ділянок також

відзначається в роботі [8]. За рекомендаціями [8], вузькі траншеї глибиною до 4,5 м і шириною до 4 м осушують одним рядом легких голчастих фільтрів, а за більших ширини та глибини – двома рядами.

Дослідники [6] відзначають ефективність використання голкофільтрів в умовах урбанізованих територій, на прикладі влаштування під час реконструкції каналізаційного колектора в м. Київ на будівельний період.

Під час глибинного водовідливу по периметру котловану на певній відстані одна від одної встановлюють свердловини, з яких відкачують воду. Внаслідок цього рівень підземних вод знижується, що дає змогу відкрити котлован насухо. Перевагою такої системи водозниження є виключення можливості порушення ґрунтів основи та відкосів котловану, а порода його основа навіть дещо ущільнюється. Ущільнення ґрунтів основи досягається за рахунок зваженої дії води, а також під впливами сил капілярного натягу та під дією гідродинамічного тиску води, яка фільтрується в напрямках до низу та у сторони від котловану. Для глибинного водозниження застосовують два основних підходи: голкофільтрові установки та водознижувальні свердловини з глибинними насосами.

За потреби зниження рівня підземних вод у шарі слабопроникних ґрунтів, які підстиляються більш проникними ґрунтами, голкофільтри слід заглиблювати у більш проникний підстилячий шар [5]. Голкофільтри у свердловинах повинні займати центральне положення.

Сучасні голкофільтрові установки зручні у компонуванні та можуть бути представлені і як тимчасові системи, які монтуються за потреби на будівельному майданчику, і як системи, що працюють на постійній основі.

Як відзначають автори [6], розрахунок основних характеристик, необхідних для визначення параметрів встановлення водозниження, повинен виконуватися згідно з вимогами нормативних документів України (СНП 2.06.14-85, 1986 р.; ДБН В.2.1-10:2018, 2019 р.; ВСН 127-91, 1992 р.).

У ДБН В.2.1-10:2018, п. 7.1.1 зазначається, що зниження рівнів ґрунтових вод на період виконання будівельних робіт виконується згідно з ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014. Положення і вимоги щодо проектування систем інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення розширює ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Однак аналіз наведених стандартів та інших регламентуючих документів показав, що сьогодні не повною мірою розкриваються всі питання щодо проектування таких

водознижувальних систем, як голкофільтри, відомості про які можна знайти й у більш ранній науковій та нормативній літературі, зокрема у Методичних вказівках з фільтраційних розрахунків водознижувальних установок (1961 р.) та Відомчих будівельних нормах ВСН 045-72 (1973 р.). Розглянуто математичний алгоритм щодо проектування установок для штучного зниження рівня ґрунтових вод у ВСН 127-91 [6], але документ потребує коригування.

Метою роботи є аналіз доцільності впровадження голкофільтрувальної установки як додаткового заходу з водозниження по периметру котловану під будівництво насосної станції та прилеглої території для підвищення надійності виконання робіт.

Методи та методики дослідження. Розглянемо можливість улаштування голкофільтрувальної установки задля водозниження в місці облаштування котловану насосної станції першої підкачки, розташованої на лівому березі р. Інгулець, а також прилеглих до нього територій в межах будівельного майданчику.

Цей об'єкт було збудовано з використанням усталеної практики, а саме за умови тимчасового відведення русла річки на ділянці виконання будівельних робіт із застосуванням шпунтового огородження котловану [4]. Для підвищення надійності цього вартісного методу доцільно розглянути можливість встановлення голкофільтрів як додаткового заходу, спрямованого на підвищення стійкості заглиблених конструкцій та прилеглих територій. Подібне посилення технічних рішень щодо водозниження досліджуваної території зменшить небезпечний вплив підземних вод та попередить розвиток процесів підтоплення на стадії будівництва та може використовуватись у подальшому як окремий захід із захисту насосної станції та прилеглої території від підмиву ґрунтовими водами в період експлуатації, наприклад за лінійною схемою.

В ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації менше $2,3 \cdot 10^{-5}$ м/с пониження рівня ґрунтових вод малоефективне, а в глинах, суглинках, супісках і пливунках воно не може відбутись.

На період вишукувань (липень 2023 р.) [4] встановлений рівень підземних вод під час буріння на ділянці водозабору зафіксовано на глибинах 0,4–1,2 м, що відповідає абсолютним позначкам +23,40–+24,60 м в Балтійській системі висот. Водонесний горизонт відкритий, напірний у зв'язку з розташуванням ділянки водозабору в зону розвантаження ґрунтових вод сарматських відкладів мергелисто-вапнякової формації.

За даними звіту про інженерно-геологічні розвідування [4], основою для фундаменту насосної станції першого підйому є глина легка, пілувата, тверда, з прошарками легкого піщанистого суглинку, з включеннями та лінзами битих мушель, непросідна.

Розрахунковий алгоритм визначення основних параметрів улаштування голкофільтрів ґрунтовно розглянуто у ВСН 127-91 [5; 6], що використано у роботі.

Результати. Притік води до замкненої водознижувальної системи з розташуванням голкофільтрів у плані по контуру під час співвідношення сторін $a/b \leq 10$ можна визначити як для системи, в якій фільтри розташовані по колу з наведеним радіусом:

$$r_w = \sqrt{a \cdot b / \pi}, \quad (1)$$

де a, b – розміри контуру водознижувальної системи, м.

Для контурної водопонижувальної системи зі співвідношенням сторін більше 10 [5]:

$$r_w = 0,25 \cdot l, \quad (2)$$

де l – більша сторона контуру, м.

За умови розмірів котловану 61 м × 44 м стверджується умова (1).

Кругова голкофільтрова установка може розглядатись як досконалий колодязь з радіусом $r_w = 29,23$ м та притоком води:

$$Q_w = (k_f \cdot S_w \cdot (H_w - S_w/2)) / \Phi, \quad (3)$$

де k_f – коефіцієнт фільтрації водонесучого шару, м/годину;

S_w – необхідний рівень водопониження, м;

H_w – відстань від рівня ґрунтових вод (РГВ) до верху водотривких порід, м;

Φ – фільтраційний опір, що визначається за формулою:

$$\Phi = [\ln(R_w/r_w)] / (2\pi), \quad (4)$$

де R_w – радіус кривої депресії за безнапірної фільтрації, м.

Усереднений коефіцієнт фільтрації водонесучого шару для піску середньозернистого неоднорідного складає $k_f = 0,029$ см/с.

Необхідне пониження рівня води визначається за формулою:

$$S_w = S_0 + \Delta S_w, \quad (5)$$

де S_0 визначається як різниця між середнім РГВ по майданчику та відміткою низу будівельного котловану, м; ΔS_w – запас пониження РГВ під центром дна котловану, приймається від 0,5 м до 1,5 м.

Притік води залежить від радіусу впливу R_w , який відраховується від центра системи.

Величину R_w встановлюють залежно від відстані до границь джерел живлення водоносного горизонту. Наприклад, за відстані від лінійної границі р. Інгулець до центру котлована L_p величина складає $R_w = 2L_p$, або приймаємо 44 м, оскільки будівництво водозабору з насосною станцією здійснювалось безпосередньо на лівому березі річки біля урізу води. На момент виконання будівельних робіт на об'єкті русло річки тимчасово було відведено, і для зменшення водопритоку до виїмок застосовано шпунтове огородження котловану. За умови розташування котловану у центрі островка з радіусом R_0 величина $R_w = R_0$. За значного віддалення границь зони живлення R_w визначають на основі вишукувальних водознижувальних робіт.

Тоді фільтраційний опір визначається за формулою (4) в розмірі $\Phi = 0,065$ м, а притік води – за формулою (3) – $Q_w = 1\,294,362$ м³/год.

Внаслідок зміни кліматичних умов відбувається поступове зменшення кількості опадів на півдні України, частішають випадки опадів зливового характеру. За метеостанцією Кривий Ріг максимальна кількість опадів за добу складає 82 мм.

Загальний притік води до водознижувальної системи з урахуванням середньої інтенсивності опадів 0,2 ÷ 0,5 мм/хв. за дощ тривалістю 3 години визначається за формулою:

$$Q = Q_w + Q_{оп}, \quad (6)$$

де Q_w – притік ґрунтових вод, м³/год;

$Q_{оп}$ – притік дощової води (опадів), м³/год.

За інтенсивного відкачування швидкість притоку води до голкофільтрів може виявитися граничною, тобто такою, за якої можливе розмивання ґрунту. Отже, гранична подача кожного голкофільтра (за k_f , виміряного у м/с) визначається за формулою:

$$q_{zp} = \frac{1}{15} \pi d_0 (H_w - S_w) \sqrt{k_f}, \quad (7)$$

де d_0 – діаметр голкофільтра, м.

Кількість голкофільтрів n повинна бути такою, щоб виконувалась умова:

$$\frac{Q}{n} \leq q_{zp}. \quad (8)$$

В умовах будівельного майданчику насосної станції першої підкачки магістрального водогону р. Інгулець – Південне водосховище отримуємо: загальний притік води до водознижувальної системи $Q = 1\,463,45$ м³/год за формулою (6), гранична подача голкофільтра $q_{zp} = 37,5$ м³/год за формулою (7), кількість голкофільтрів $n = 41$ шт. за рівнянням (8).

Умова (8) виконується, тому визначена водознижувальна система із 41 голкофільтру може розглядатись як альтернативне швидке технологічне рішення в умовах будівництва водозабору з насосною станцією підкачки та, за потреби, водозниження РГВ під час її експлуатації в штатному режимі.

Висновки. Технології водозниження для виконання будівельних робіт або за інших потреб можуть розглядатись як природоохоронний аспект – тимчасовий або постійний захист територій від підтоплення та затоплення.

За умови врахування фактичної гідрогеологічної ситуації та виконання аналітичних

досліджень, спрямованих на визначення основних параметрів системи голкофільтрів, доцільно використовувати як додатковий метод водозниження територій, що розглянуто на прикладі будівництва заглиблених конструкцій в умовах тимчасового відведення русла річки із застосуванням шпунтового огородження котловану.

Набуває доцільності проведення в подальшому досліджень щодо визначення раціонального улаштування голкофільтрової системи як інженерного заходу захисту від шкідливої дії вод на заглиблені конструкції, зокрема для насосної станції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Степанчук С., Дмитрієв Д., Кураш С. Захист заглиблених конструкцій будівель та споруд від впливу підземних вод на будівельний та експлуатаційний періоди. *Наука та будівництво*. 2023. 35 (1). DOI: 10.33644/2313-6679-1-2023-6
2. Mustafa B., Norhan A. R., Abdalla E., Saud T. Rising Groundwater Levels Problem in Urban Areas: A Case Study from the Central Area of Madinah City, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2015. 41. DOI: 10.1007/s13369-015-1976-3
3. Малєєв В. О., Безпальченко В. М. Підтоплення територій Херсонської області: аналіз причин, шляхи вирішення проблеми. *Екологічні науки*, 2018. Вип. № 1(20), Т. 1. С. 39–43. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/8.pdf
4. Нове будівництво магістрального водогону р. Інгулець – Південне водосховище для забезпечення водою м. Кривий Ріг у зв'язку з необхідністю ліквідації негативних наслідків, пов'язаних із знищенням Каховської гідроелектростанції, Дніпропетровська область: проєкт. Київ : ТОВ «НВО «Трансінжиніринг», 2024.
5. Маєвська І., Блащук Н. Основи і фундаменти. Ч. 1. Проєктування основ і фундаментів у звичайних умовах: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 85 с.
6. Дмитрієв Д., Кураш С. Виконання будівельного водозниження на територіях зі складними гідро-геологічними умовами. *Основи та фундаменти*. 2025. Вип. 50. DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.64-76
7. Calin N., Radu C., Bica I. Dewatering system of a deep of excavation in urban area – Bucharest case study. *Procedia Engineering*. 209 (2017), 210–215. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.149
8. Abdukhaililova Sh. Drainage and ground water level reduction. *Central Asian Journal of Mathematical Theory And Computer Sciences*. Vol. 03. Issue 12. 2022. 74–78. URL: <https://cajmtcs.centralasianstudies.org/index.php/CAJMTCS/article/download/295/281>

REFERENCES:

1. Stepanchuk, S., Dmytriiev, D., & Kurash, S. (2023). Zakhyst zahlyblynykh konstrukttsii budivel ta sporud vid vplyvu pidzemnykh vod na budivelnyi ta ekspluatatsiyni periody [Protection of buried structures of buildings and structures from groundwater impact during construction and operational periods]. *Nauka ta budivnytstvo*, 35 (1). DOI: 10.33644/2313-6679-1-2023-6 [in Ukrainian].
2. Mustafa, B., Norhan, A. R., Abdalla, E., & Saud, T. (2015). Rising Groundwater Levels Problem in Urban Areas: A Case Study from the Central Area of Madinah City, Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 41. DOI: 10.1007/s13369-015-1976-3
3. Malieiev, V. O., & Bezpalchenko, V. M. (2018). Pidtoplennia terytorii Khersonskoi oblasti: analiz prychn, shliakhy vyryshennia problemy [Flooding in Kherson Region: Analysis of Causes, Solutions to the Problem]. *Ekolohichni nauky*, 1(20), 1. 39–43. , URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/8.pdf
4. Nove budivnytstvo mahistralnoho vodohonu r. Inhulets – Pivdenne vodoskhovyshche dlia zabezpechennia vodoiu m. Kryvyi Rih u zviazku z neobkhidnistiu likvidatsii nehatyvnykh naslidkiv, poviazanykh iz znyshchenniam Kakhovskoi hidroelektrostantsii, Dnipropetrovska oblast : Proekt [New construction of the Ingulets River – Southern Reservoir water main to supply water to the city of Kryvyi Rih due to the need to eliminate the negative consequences associated with the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, Dnipropetrovska oblast: Project]. Kyiv : TOV “NVO “Transinzhynirynh”, 2024 [in Ukrainian].

5. Maievskaya, I., & Blashchuk, N. (2017). *Osnovy i fundamenti. Ch. 1. Proektuvannia osnov i fundamentiv u zvychnykh umovakh: navchalnyi posibnyk* [Fundamentals and foundations. Part 1. Design of bases and foundations in normal conditions: textbook]. Vinnytsia: VNTU, 2017. 85 [in Ukrainian].

6. Dmytriiev, D., & Kurash, S. (2025). *Vykonannia budivelnoho vodoznyzhennia na terytoriakh zi skladnymy hidro-heolohichnymy umovamy* [Construction dewatering in areas with difficult hydro-geological conditions]. *Osnovy ta fundamenti*. 2025, 50. DOI: 10.32347/0475-1132.50.2025.64-76 [in Ukrainian].

7. Calin, N., Radu, C., & Bica, I. (2017). Dewatering system of a deep of excavation in urban area – Bucharest case study. *Procedia Engineering*, 209 (2017), 210–215. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.149

8. Abdukhalilova, Sh. (2022). Drainage and groundwater level reduction. *Central Asian Journal of Mathematical Theory and Computer Sciences*, 03, 12, 74–78. Retrieved from: <https://cajmtcs.centralasianstudies.org/index.php/CAJMTCS/article/download/295/281>

Стаття надійшла: 16.08.2025

Стаття прийнята: 05.09.2025

Опублікована: 10.11.2025

