

А.К. Судаков¹, А.Ю. Дреус², доктори технічних наук; **Г.В. Гапіч³**, канд. технічних наук,
А.С. Шумов¹, аспірант

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, E-mail: sudakovy@ukr.net,
Shumov.An.S@ntu.one

²Дніпровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро, E-mail: dreus.andrii@gmail.com

³Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро, E-mail: hapich.h.v@dsau.dp.ua

ТЕХНОЛОГІЯ ОБЛАДНАННЯ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН БІОРОЗЧИННИМИ БЛОКОВИМИ ГРАВІЙНИМИ ФІЛЬТРАМИ

Метою роботи є обґрунтування та розробка раціональної технології обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами для підвищення ефективності очищення підземних вод та покращення довговічності їх експлуатації. Поставлені завдання вирішували комплексним методом дослідження, що включає аналіз і узагальнення літературних і патентних джерел.

Уперше запропоновано технологію обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами, цінність якої полягає в поєднанні екологічної безпечності, технологічної простоти, економічної ефективності та адаптивності до конкретних гідрогеологічних умов буріння.

Результати дослідження можуть бути використані у проектуванні та реконструкції бурових свердловин для питного, технічного водопостачання, а також у навчальному процесі технічних університетів та підготовці фахівців у галузях буріння, водопостачання та гідрогеології.

Ключові слова: *свердловина, біорозчинний блоковий гравійний фільтр, в'язучий матеріал, буріння.*

Постановка проблеми

Вода є одним із найважливіших ресурсів для життя та розвитку людства, однак її дефіцит стає дедалі гострішою глобальною проблемою. За оцінками ООН, до 2025 року понад 3,2 мільярда людей відчуватимуть нестачу прісної води, а понад 1,8 мільярда вже зараз не мають доступу до безпечної питної води. При цьому щоденно близько 10 мільярдів тонн води повертається у навколишнє середовище без належного очищення, що суттєво погіршує екологічну ситуацію. В умовах кліматичних змін, урбанізації, забруднення джерел і воєнних конфліктів, зокрема в Україні, доступ до якісної води стає ще складнішим через руйнування інфраструктури, забруднення підземних вод і перевантаження локальних систем водозабезпечення [1].

В умовах прогресуючої водної кризи та нерівномірного розподілу ресурсів особливе значення набуває використання підземних вод як стабільного джерела питного водопостачання. Одним із найефективніших способів їх видобування є буріння бурових свердловин. Проте ефективність експлуатації таких свердловин значною мірою залежить від конструкції та якості фільтрувального обладнання, яке забезпечує очищення води від механічних домішок і попереджає замулювання свердловин [2].

Сучасні фільтри виготовляються з інертних або важкоутилізованих матеріалів, які після завершення строку служби потребують складного демонтажу або створюють додаткове навантаження на довкілля. Водночас монтаж традиційних гравійних фільтрів ускладнений у польових умовах, особливо при бурінні свердловин великої глибини. Це обмежує можливості

швидкого реагування в екстрених умовах, зокрема під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій або у віддалених районах [3, 4].

У цьому контексті актуальною є розробка технології обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами, які поєднують високу фільтраційну здатність із екологічною безпечністю, простотою транспортування, монтажу та природним розкладанням після завершення експлуатації. Відсутність усталених інженерно-технологічних рішень щодо їх конструкції, технології встановлення та оцінки довговічності обумовлює необхідність наукового обґрунтування та впровадження таких інноваційних рішень у практику водозабезпечення.

Метою роботи є обґрунтування та розробка раціональної технології обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами для підвищення ефективності очищення підземних вод та покращення довговічності їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Передумови обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами

Блокові гравійні фільтри є ключовим елементом у конструкції бурових свердловин, особливо в умовах, де необхідно забезпечити ефективну фільтрацію та захист від проникнення дрібнодисперсних частинок. Їх застосування обумовлено рядом геологічних, технологічних та експлуатаційних факторів, які визначають доцільність та ефективність використання таких фільтрів.

Геологічні передумови обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами

Геологічна структура регіону, де планується буріння, є одним з ключових чинників при виборі конструкції свердловини та типу фільтруючого обладнання. Особливо це стосується районів з гідрогеологічними умовами, що ускладнюють експлуатацію свердловин без додаткових заходів стабілізації та фільтрації.

Однією з основних геологічних передумов для застосування біорозчинних блокових гравійних фільтрів є наявність пухких осадових відкладів у водоносних горизонтах. Такі породи, як піски, а іноді й дрібнозернисті гравійно-піщані суміші, мають низьку механічну стабільність, що призводить до обвалення стінок свердловини, проникнення частинок у водозабірну зону та швидкого піскування. Блокові гравійні фільтри в таких умовах виступають не лише засобом фільтрації, але й додатковою механічною опорою для стінок свердловини, запобігаючи їх обсіпанню.

В умовах неоднорідної гранулометричної структури водоносних порід застосування блокових гравійних фільтрів дозволяє адаптувати фільтраційну здатність свердловини до різних фракцій порід. Наприклад, при бурінні в алювіальних відкладах, що складаються з шарів піску, глини та гальки, типова сітчаста фільтруюча система може бути недостатньо ефективною. У таких випадках саме блокові гравійні фільтри, завдяки можливості підбору зернового складу гравію відповідно до характеристик природної породи, забезпечують більш рівномірну та стійку фільтрацію.

Крім того, наявність мікротектонічних порушень у зоні залягання водоносних горизонтів також є вагомою причиною використання блокових гравійних фільтрів. Такі порушення створюють зони підвищеної проникності та, відповідно, більшу ймовірність надходження суспензії та дрібнодисперсних фракцій у свердловину. Установлення гравійної набивки дозволяє створити буферну зону, яка ефективно затримує дрібні частинки, запобігаючи їхньому проникненню в насосне обладнання.

Необхідно також зазначити, що в регіонах із високим рівнем фільтраційних водовтрат (наприклад, у південних областях України), блокові гравійні фільтри дозволяють мінімізувати

ці втрати завдяки формуванню більш однорідного фільтраційного середовища між обсадною колоною та водоносним горизонтом.

За даними досліджень [5–13], ефективність експлуатації свердловин у пухких осадових відкладеннях значно зростає при застосуванні гравійної набивки, яка зменшує ймовірність проникнення шкідливих механічних домішок у добуту воду.

Технологічні аспекти обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами

Технологічні аспекти облаштування бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами пов'язані з обґрунтуванням вибору типу фільтруючих елементів. Блокові гравійні фільтри застосовуються у тих випадках, коли стандартні перфоровані або сітчасті фільтри не забезпечують належної продуктивності, стабільності чи довговічності свердловини.

Основною технологічною передумовою використання гравійної набивки є потреба в ефективному розмежуванні бурової колони та водоносного горизонту з метою покращення фільтраційних умов. В умовах інтенсивної експлуатації свердловин та значного коливання дебіту, біорозчинний блоковий гравійний фільтр виконує функцію динамічного буфера, що забезпечує стабільне надходження води при мінімальних коливаннях напору та без надмірного потрапляння механічних домішок.

Технологія обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами передбачає розчинення в'язучої речовини гравійної набивки у водному середовищі, це відбувається за рахунок властивостей в'язучої речовини PLA. Це викликано необхідністю підвищення ефективної шпористості гравійної набивки [14–16].

Технічний результат досягається за рахунок зміни:

- масової концентрації біорозчинного в'язучого PLA;
- фізико-механічних властивостей біорозчинного в'язучого PLA;
- швидкості транспортування біорозчинного БГФ у свердловинній рідині по стовбуру свердловини.

Досвід показує, що використання блокових гравійних фільтрів полегшує виконання регламентних робіт, таких як регенерація фільтрувального простору, закачування реагентів для хімічного очищення або проведення імпульсного гідравлічного впливу. Гравійна набивка діє як рівномірний розподільник потоків, що забезпечує рівномірне очищення по всій довжині водозабірної зони.

Економічні аспекти обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами

Обґрунтування вибору технічних рішень при облаштуванні свердловин завжди супроводжується економічним аналізом, який включає оцінку витрат на будівництво, експлуатацію, обслуговування та прогнозовану тривалість служби об'єкта. У цьому контексті застосування біорозчинних блокових гравійних фільтрів має низку суттєвих економічних переваг.

Перш за все, варто зазначити, що хоч облаштування біорозчинного блокового гравійного фільтра вимагає додаткових початкових капіталовкладень – зокрема на закупівлю, транспортування та укладання гравійної набивки – ці витрати компенсуються зменшенням експлуатаційних витрат у середньо- та довгостроковій перспективі. Як показано у дослідженнях [17, 18], експлуатаційні витрати на обслуговування свердловин з блоковим гравійним фільтром у 2–3 рази нижчі порівняно з аналогічними свердловинами без такого фільтра.

Одним із найвагоміших економічних чинників є зниження частоти піскування свердловин. Завдяки гравійній набивці, яка затримує дрібнодисперсні частинки ще до їхнього проникнення у фільтр, значно скорочується потреба в частих прочистках, гідродинамічних

обробках та ремонтах. Це зменшує витрати на сервісні роботи, а також запобігає передчасному зносу насосного обладнання.

Крім того, слід враховувати підвищення водовіддачі свердловини. За рахунок створення фільтраційної подушки зі збалансованою гідравлічною проникністю забезпечується стабільне надходження води навіть у періоди пікового водоспоживання.

Гравійне фільтрування дозволяє знизити ризики забруднення водоносних горизонтів техногенними домішками через зворотне проникнення. Це не лише знижує потенційні екологічні загрози, а й убезпечує водозабір від штрафних санкцій або вимушеного припинення діяльності.

Економічні передумови для застосування біорозчинних блокових гравійних фільтрів полягають у наступному:

- зменшення експлуатаційних витрат;
- зниження частоти кольматування фільтра;
- подовження експлуатаційного терміну свердловин;
- запобігання екологічним збиткам.

Всі ці чинники роблять застосування біорозчинних блокових гравійних фільтрів економічно доцільним та вигідним рішенням при проектуванні та будівництві бурових свердловин.

В основу роботи покладена ідея створення технології виготовлення елемента біорозчинного гравійного фільтра блокової конструкції з омоноличуванням гравійного матеріалу, де як в'язучий матеріал використовується біорозчинний PLA (полілактид), який рівномірно змішується у рідкому стані з гравійною набивкою у заданому масовому співвідношенні [19, 20].

Для реалізації запропонованої технології необхідно виконати такі технологічні операції: виготовити на денній поверхні біорозчинний гравійний елемент фільтра блокової конструкції, провести збірку робочої частини біорозчинного блокового гравійного фільтра, здійснити спуск біорозчинного блокового гравійного фільтра до продуктивного горизонту та провести його посадку у водоприймальну частину бурової свердловини.

У табл. 1 приведено послідовність виконання технологічних операцій, а також можливі варіанти їх здійснення.

Технологічні операції при обладнанні бурових свердловин біорозчинними БГФ

Технологічні операції 1	Можливі способи здійснення операцій 2
Виготовлення БГЕ фільтра	У стаціонарних умовах
	На буровому майданчику
Збірка біорозчинного БГФ	У стаціонарних умовах
	На буровому майданчику
Спуск біорозчинного БГФ по стовбуру свердловини	На колоні бурильних труб
	На лебідки бурової установки
Посадка біорозчинного БГФ	У розкритий з проектним діаметром
	Гідровмивом з одночасним розкриттям або у «пілот-свердловину»

Обґрунтування параметрів конструкції та в'язучої речовини PLA біорозчинного БГФ, виготовленого за запропонованою технологією

Фільтри бурових свердловин повинні відповідати таким основним вимогам:

- забезпечення максимального дебіту свердловини за мінімального зниження рівня води в ній, а також створення мінімального гідравлічного опору у прифільтрової зоні, що дозволяє зменшити енерговитрати на підйом води;
- наявність достатньої механічної міцності конструкції для забезпечення її довговічності та надійності експлуатації;
- максимальна площа контакту з водоносною породою, що забезпечує зниження вхідної швидкості фільтрації води, зменшуючи ризик кольматування та підвищуючи ефективність водовіддачі;
- стійкість до агресивних впливів — хімічної та електрохімічної корозії, водної ерозії та відкладення мінеральних солей, що дозволяє експлуатувати фільтр у складних гідрохімічних умовах тривалий час;
- конструктивна придатність до обслуговування — можливість застосування механічних та хімічних методів очищення і регенерації фільтра та прифільтрової зони, а також демонтажу і заміни фільтра при необхідності;
- надійність очищення від механічних домішок — піскування допустиме лише на початковому етапі експлуатації.

У результаті попередніх досліджень встановлено, що конструкції фільтрів відрізняються за такими критеріями: форма і розмір фільтраційних отворів, матеріал виготовлення, методи кріплення елементів тощо. До основних параметрів блокових гравійних фільтрів відносять:

- гранулометричний склад гравію;
- якість (ступінь окатаності, міцність, стабільність) гравію;
- розміри, форми прохідних отворів каркасу фільтра;
- діаметр, довжину та товщину гравійного обсіпання;
- діаметр і довжину робочої поверхні фільтра.

Зважаючи на те, що питання, пов'язані з якістю та товщиною гравійної набивки, були ретельно вивчені попередніми авторами [16] і залишаються актуальними, а діаметр і довжина робочої поверхні визначаються специфікою геолого-гідрогеологічних умов, для подальшого обґрунтування параметрів конструкції біорозчинного БГФ доцільно:

- уточнити питання вибору гранулометричного складу гравію, виходячи з шпористості, фільтраційних характеристик водоносного горизонту;
- обґрунтувати вибір розміру та форми прохідних отворів каркаса фільтрової колони з урахуванням захисту від проникнення дрібних частинок і одночасного зниження гідравлічного опору;
- запропонувати сучасні біорозчинні в'язучі, що відповідають екологічним стандартам;
- урахувати екологічні аспекти на всіх етапах: видобуток, транспортування, експлуатація і подальша утилізація фільтрувальних матеріалів. Відпрацьовані матеріали повинні мати мінімальний вплив на навколишнє середовище;

Відповідно, сучасна конструкція біорозчинного БГФ повинна не лише забезпечувати ефективний видобуток води, але й відповідати принципам екологічної безпеки, ресурсозбереження та стійкого розвитку бурових технологій.

Вибір гранулометричного складу гравію та діаметра прохідних отворів каркаса фільтрової колони

Підбір параметрів обсіпання під час створення біорозчинних БГФ є визначальним етапом у комплексі робіт, пов'язаних з проектуванням, спорудженням та експлуатацією бурових

свердловин. Від правильності цього етапу залежить ефективність роботи водоприймальної частини свердловини, її довговічність та стабільність гідродинамічного режиму.

При оснащенні водоприймальної частини свердловини біорозчинним БГФ необхідно мати дані про гранулометричний склад водоносної породи. Зокрема, враховуються такі параметри, як діаметри частинок d_{10} , d_{50} , d_{60} , що відповідають розмірам зерен, через які проходить 10%, 50% і 60% маси проби відповідно. Аналіз гранулометричного складу здійснюється шляхом лабораторного просіювання зразків порід та подальшого побудування кривої гранулометричного розподілу. Це дозволяє визначити не лише середній розмір зерен, але й ступінь їх однорідності.

Відповідно до сфери застосування розроблюваної технології біорозчинний БГФ доцільно застосовувати для оснащення свердловин, пробурених у середньозернистих, дрібнозернистих та пилюватих пісках. Тип фільтра підбирається з урахуванням фільтраційних властивостей водоносного горизонту згідно з рекомендаціями ДБН В.2.5-74:2013. У зазначеному нормативному документі передбачено використання трубчастих та стрижньових фільтрів із одношаровим, двошаровим або багатошаровим гравійно-піщаним обсипанням для тривалої експлуатації бурових свердловин. У випадках, коли техніко-технологічні умови дозволяють, допустимо також застосовувати блокові гравійні фільтри.

Існуючі розбіжності у рекомендаціях щодо вибору типу фільтра пояснюються відмінностями в технологіях буріння та умовами формування якісної гравійної набивки. У межах запропонованої технології конструкція біорозчинного БГФ передбачає блоковий гравійний фільтр з одношаровим обсипанням. Каркас фільтра має трубчасту форму з круглими перфораційними отворами, що забезпечує рівномірний розподіл потоку та зниження гідравлічного опору.

Як матеріал для гравійної набивки рекомендується використовувати добре окатаний, очищений від глинистих домішок пісок, гравій або піщано-гравійну суміш. Матеріал повинен бути ретельно просіяним та однорідним за розміром, що забезпечить стабільність фільтраційних характеристик. При підборі розміру зерен для одношарових обсипань слід керуватись вимогами ДБН В.2.5-74:2013. Зокрема, фракційний склад гравію повинен забезпечувати надійну затримку частинок водоносної породи, не допускаючи їх проникнення у фільтр, водночас не створюючи надмірного опору руху води.

Для забезпечення оптимального фільтраційного режиму рекомендовано дотримуватись співвідношення:

$$d_{\text{фільтра}} = \frac{4}{6} \cdot d_{10\text{породи}}$$

де $d_{\text{фільтра}}$ – середній діаметр зерен обсипання; $d_{10\text{породи}}$ – діаметр зерен породи, через які проходить 10% її маси. Це дозволяє досягти балансу між захисною функцією фільтра та його водопровідною здатністю [21].

З метою розширення області застосування біорозчинних блокових гравійних фільтрів, а отже, для забезпечення питного водопостачання великої кількості ізольованих екологічно чистих водоносних горизонтів, представлених дрібнозернистими і пилюватими пісками, пропонується застосовувати біорозчинні блокові гравійні фільтри, які мають діаметр гравійних частинок 0,5–0,75 мм.

Компонування фільтрової колони стандартне (рис. 1), містить відстійник, робочу частину та надфільтрову частину. Діаметри відстійника $d_{\text{в}}$ та надфільтрової труби $d_{\text{н}}$ зазвичай дорівнюють діаметру робочої частини фільтра $d_{\text{рч}}$ або його каркаса

$$d_{\text{в}} = d_{\text{рч}} = d_{\text{н}}$$

при цьому діаметр фільтра дорівнює

$$d_{\text{рч}} = d_{\text{вг}}^6 - 100, \text{ мм,}$$

де $d_{\text{ВГ}}^{\delta}$ – діаметр свердловини в межах водоносного горизонту.

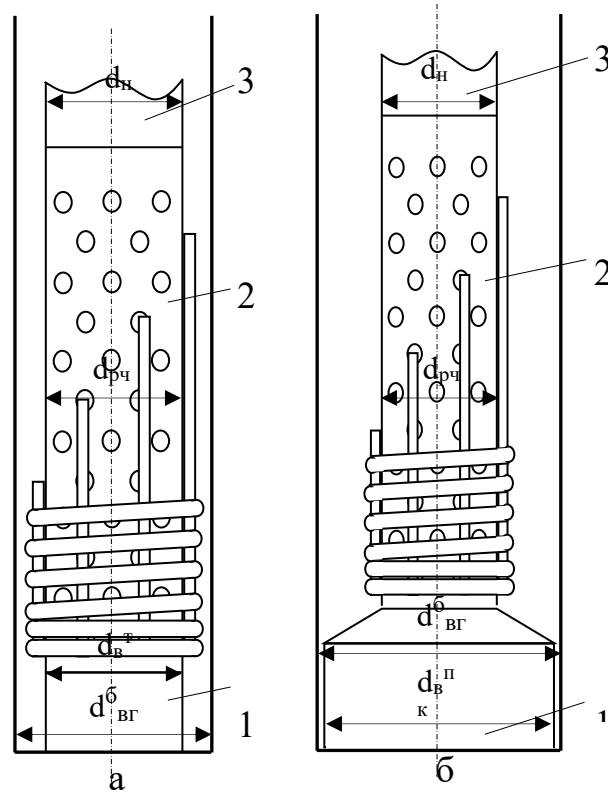


Рис. 1. Схеми компонування фільтрової колони: а – трубчастий фільтр з круглою перфорацією з водоприймальною поверхнею з дрютяної обмотки, з традиційною компоновкою; б – трубчастий фільтр, з круглою перфорацією з водоприймальною поверхнею з дрютяної обмотки, з відстійником розширеного контуру ($d_{\text{бвг}}^{\delta}$ – діаметр свердловини в межах водоносного горизонту. 1 – відстійник; 2 – трубчастий каркас фільтра; 3 – надфільтрова труба)

Відстійник необхідний для збору твердих домішок, що пройшли через робочу частину фільтра. Об'єм відстійника визначає міжремонтний період свердловини.

Для зниження ймовірності деформації фільтруючої поверхні і збільшення термінів міжремонтного періоду пропонується застосування нетрадиційної компоновки фільтрової колони з максимально можливим об'ємом відстійника при збереженні його довжини. Вибір діаметра відстійника здійснюється за співвідношенням:

$$d_{\text{В}}^{\text{ПК}} = d_{\text{ВГ}}^{\delta} - (1-20 \text{ мм}).$$

Тоді $d_{\text{В}}^{\text{ПК}} > d_{\text{В}}^{\text{Т}} 99-80 \text{ мм}$.

Застосування запропонованої компоновки біополімерного блокового гравійного фільтра зі збільшеним відстійником дозволяє:

- під час спуску фільтрової колони забезпечити її центрування в свердловині;
- знизити вірогідність деформації і порушення суцільності дрютяної обмотки, сітки, кожуха; зрізати кільцевим башмаком відстійника нерівності із стінок свердловини;
- під час монтажу фільтра у водоносному горизонті скоротити об'єм гравійного матеріалу;
- при експлуатації біорозчинного блокового гравійного фільтра збільшити об'єм відстійника, тобто збільшити об'єм для збору твердих домішок, збільшити терміни міжремонтного періоду.

Схематичне зображення схеми встановлення біорозчинного БГФ у свердловині (рис. 2).

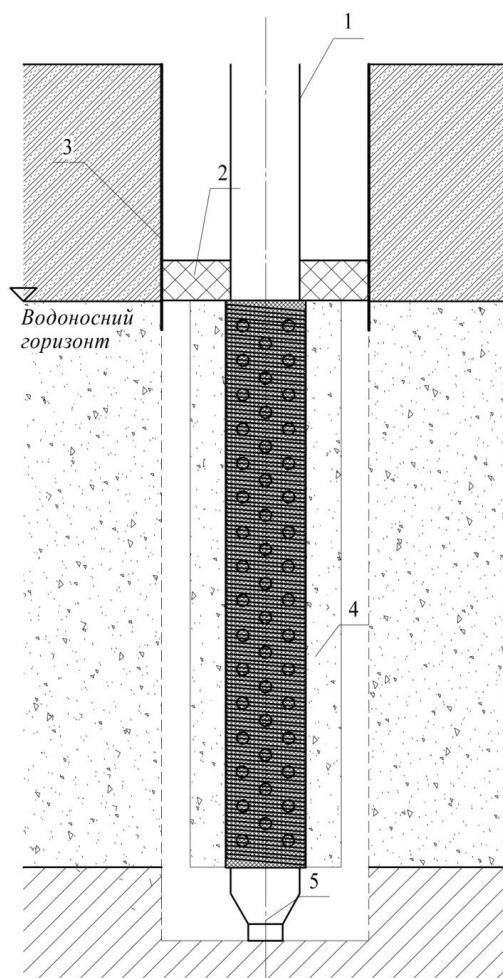


Рис. 2. Схема встановлення у свердловині біорозчинного БГФ: 1 – фільтрова колона; 2 – пакер; 3 – обсадна колона; 4 – біорозчинний БГФ; 5 – відстійник

Обґрунтування та вибір біорозчинної в'язучої речовини PLA

До в'язучої речовини PLA висуваються такі вимоги:

- інертність по відношенню до гравійного матеріалу;
- достатня міцність під час транспортування та складання фільтра на буровій;
- інертність у контакті із свердловинною рідиною під час транспортування по стовбуру свердловини;
- здатність під дією тривалого гідродинамічного впливу поступово набувати реологічних властивостей води;
- екологічна чистота;
- недефіцитність і відносно невисока вартість.

Найповніше вищенаведеним вимогам відповідає в'язуча речовина PLA [22, 23].

Етапи виготовлення циліндричних форм елементів біорозчинного БГФ

Згідно із запропонованою технологією [19, 20], виготовлення циліндричних форм - елементів біорозчинних блокового гравійного фільтра може здійснюватися як у стаціонарних умовах, так і на буровому майданчику. В загальному вигляді виготовлення біорозчинного БГФ включає такі етапи:

- а) підготовка металевих циліндричних форм для виготовлення БГЕ фільтра;
- б) підготовка гравійного матеріалу;
- в) підготовка біорозчинної в'язучої речовини PLA;
- г) підготовка суміші гравійного матеріалу та біорозчинного в'язучого (PLA);
- д) формування біорозчинного БГЕ фільтра;
- е) процес омонолічування БГЕ фільтра відповідно до запропонованої технології;
- ж) виймання БГЕ фільтра з форм.
- з) оцінка якості БГЕ, виготовленого за запропонованою технологією.

Висновки

1. Зростаюча глобальна водна криза, обумовлена кліматичними змінами, урбанізацією та нестабільністю інфраструктури, особливо в Україні, робить життєво важливим розвиток ефективних, екологічно безпечних підземних джерел водопостачання. Використання біорозчинних БГФ у бурових свердловинах здатне значно підвищити якість води, доступність водозабезпечення і водозахист у складних умовах.

2. Геологічні умови в регіонах із пухкими осадовими відкладеннями, неоднорідними породами, мікротектонічними порушеннями або високими фільтраційними втратами обумовлюють потребу у фільтраційній системі з механічною стабільністю.

3. Запропонована технологія обладнання біорозчинного БГФ з використанням біорозчинного з'єднувача PLA дозволяє створити монолітний фільтр, який згодом розмонолічується у водному середовищі. Це зменшує витрати на демонтаж та утилізацію, спрощує логістику й монтаж, зберігаючи при цьому експлуатаційну ефективність.

4. Розроблена технологія є новаторською, бо вперше поєднує монолітну блокову конструкцію фільтра із біорозчинним в'язучим (PLA).

A. Sudakov¹, A. Dreus², H. Napich³, A. Shumov¹

¹*Dnipro University Technology, Ukraine*

²*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

³*Dnipro State Agrarian and Economic University, Ukraine*

TECHNOLOGIES FOR EQUIPPING DRILL HOLES WITH BIODEGRADABLE BLOCK GRAVEL FILTERS

The objective of this work is to substantiate and develop a rational technology for equipping boreholes with bio-soluble block gravel filters to improve the efficiency of groundwater purification and to extend their operational service life. The set tasks were addressed using a comprehensive research methodology, which included the analysis and synthesis of literary and patent sources.

For the first time, a technology for equipping boreholes with bio-soluble block gravel filters has been proposed. Its significance lies in the combination of environmental safety, technological simplicity, cost-effectiveness, and adaptability to specific hydrogeological drilling conditions.

The research results can be applied in the design and reconstruction of boreholes for potable and industrial water supply systems. Furthermore, they can be integrated into the educational curricula of technical universities for training specialists in the fields of drilling, water supply, and hydrogeology.

Key words: well, biodegradable block gravel filter, binding material, drilling.

Література

1. Progress on household drinking-water, sanitation and hygiene 2000-2024: Special focus on inequalities. *United Nations*. URL: <https://www.unwater.org/>.
2. World Population Review. URL: <https://worldpopulationreview.com/>.
3. World Resources Institute. URL: <https://www.wri.org/>.
4. Concern Worldwide US. URL: <https://concernusa.org/>.

5. Судаков А.К., Фем'як Я.М., Чудик І.І., Федик О.М., Щуцький В.І. Буріння свердловинна воду: навчальний посібник. Дрогобич: Посвіт, 2022. 344 с.
6. Кожевников А.О., Судаков А.К. Гравійні фільтри бурових свердловин. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. 186 с.
7. Кожевников А.О., Судаков А.К., Дреус А.Ю. Наукові основи інноваційної технології обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11, № 3. С. 23–38.
8. Rowles R. *Drilling for Water: A Practical Manual*. Routledge: Published Free Shipping, 1995. 188 p.
9. Судаков А., Павличенко А., Гапич А., Ісакова М., Шумов А.; Водопостачання з підземних вод: нові рішення для зруйнованої України. *Водопостачання*. 2025. Т. 25, № 3. С. 617–627.
10. Кондрат Р., Дремлюх Л. Дослідження впливу розміру і проникності штучно створеної присвердловинної зони пласта на продуктивну характеристику свердловини. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2021. № 1. С. 37–44.
11. Zhu D., Cheng L., Guo X., Yu J. Effect of filter designs on hydraulic properties and well efficiency. *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol. 137. P. 1–9.
12. Elhag A. M. H. New concepts for water well screen opening and gravel pack size. *American Journal of Water Science and Engineering*. 2020. Vol. 6, N 4. P. 133–138.
13. Hatt B. E., Fletcher T. D., Deletic A. Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems. *Water Research*. 2007. Vol. 41, N 12. P. 2513–2524.
14. Кожевников А.О., Судаков А.К. Кріогенно-гравійні фільтри свердловин. Дніпропетровськ: Літограф, 2014. 305 с.
15. Кожевников А.О., Отебаєв М., Судаков А.К. та ін. Гравійні фільтри свердловин на рідкі та газоподібні корисні копалини. Алмати: КазНТУ, 2015. 346 с.
16. Судаков А.К. Наукові основи технології обладнання бурових свердловин кріогенногравійними фільтрами: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.15.10. Дніпропетровськ, 2014. 412 с.
17. Nadipour K. M. *Sand Control and Gravel Packing Techniques: It Never Rains in the Oil Field!* Xlibris US, 2019. 146 p.
18. Ballard T. The True Cost of a Well. *Southeast Hydrogeology*. URL: <https://sehydrogeology.com/the-true-cost-of-a-well/>.
19. Спосіб виготовлення біополімерно-гравійного фільтра на фільтровій колоні: пат. 159897 Україна: МПК E21B 43/08; опубл. 16.07.25, Бюл. 29.
20. Блоковий гравійний фільтр бурових свердловин: пат. 159896 Україна: МПК E21B 43/08; опубл. 16.07.25, Бюл. 29.
21. Johnson A. I. Filter pack and well screen design. United States department of the interior geological survey, 1963. 17 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1963/0060/report.pdf>.
22. Smith J., Lee A. Polylactic acid as biobased binder for the production of 3D printing feedstock. *Journal of Materials Processing Technology*. 2023, Vol. 312, 117892.
23. Wang X., Chen Y., Zhang, L. Polylactic acid (PLA) biocomposite: Processing, additive manufacturing, and applications. *Polymers*. 2021. Vol. 13, N 8. 1326.

Надійшла 20.08.25

References

1. *Progress on household drinking-water, sanitation and hygiene 2000-2024: Special focus on inequalities*. United Nations. (b.d.). <https://www.unwater.org/>.
2. World Population Review. [(b.d.)]. <https://worldpopulationreview.com/>.

3. World Resources Institute. (b.d.). [https:// www.wri.org/](https://www.wri.org/).
4. Concern Worldwide US. (b.d.). <https://concernusa.org/>.
5. Sudakov, A.K., Femyak, Y.M., Chudyk, I.I., et al. (2022). *Burinnia sverdlovyn na vodu [Drilling water wells]*. Posvit [in Ukraine].
6. Kozhevnikov, A.O., & Sudakov, A.K. (2011). *Hraviini filtry burovykh sverdlovyn [Gravel filters of boreholes]*. National Mining University [in Ukrainian].
7. Kozhevnikov, A.O., Sudakov, A.K., & Dreus, O.Y. (2015). Naukovi osnovy innovatsiinoi tekhnologii obladnannia burovykh sverdlovyn kriohenno-hraviinymy filtramy [Scientific basis of innovative technology of drilling wells equipment with cryogenic-gravel filters]. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation*, 11(3), 23–38 [in Ukrainian].
8. Rowles, R. (1995). *Drilling for Water: A Practical Manual*. Routledge: Published Free Shipping.
9. Sudakov, A., Pavlychenko, A., Hapich, H., et al. (2024). Water supply from groundwater: new solutions for a battered-and-bruised Ukraine. *Water Supply*, 2025, 25(3): 617–627 [in Ukrainian].
10. Kondrat, R., & Dremlukh, L. (2021). Study of the influence of the size and permeability of an artificially created near-wellbore zone on the productive characteristics of the well. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu – Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, (1), 37–44. [in Ukrainian].
11. Zhu, D., Cheng, L., Guo, X., & Yu, J. (2014). Effect of filter designs on hydraulic properties and well efficiency. *Journal of Environmental Management*, 137, 1–9.
12. Elhag, A. M. H. (2020). New concepts for water well screen opening and gravel pack size. *American Journal of Water Science and Engineering*, 6(4), 133–138.
13. Hatt, B. E., Fletcher, T. D., & Deletic, A. (2007). Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems. *Water Research*, 41(12), 2513–2524.
14. Kozhevnikov, A.O., & Sudakov, A.K. (2014). *Kriohenno-hraviini filtry sverdlovyn [Cryogenic-gravel filters of wells]*. Litohraf [in Ukrainian].
15. Kozhevnikov, A.O., Otebaev, M., Sudakov, A.K., et al. (2015). *Hraviini filtry sverdlovyn na ridki ta hazopodibni korysni kopalyny [Gravel filters of wells for liquid and gaseous minerals]*. KazNTU [in Ukrainian].
16. Sudakov, A.K. (2014). *Naukovi osnovy tekhnologii obladnannia burovykh sverdlovyn kriohenno-hraviinymy filtramy [Scientific basis of the technology of drilling well equipment with cryogenic gravel filters]*. [Doctor's dissertation]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
17. Hadipour, K. M. (2019). *Sand Control and Gravel Packing Techniques: It Never Rains in the Oil Field!* Xlibris US.
18. Ballard, T. (2019). *The True Cost of a Well*. Southeast Hydrogeology. (b.d.). <https://sehydrogeology.com/the-true-cost-of-a-well/>.
19. Sudakov, A.K., Pavlychenko, A.V., Zagrytseno, et al. (2025). Patent of Ukraine № 159897 MIIK E21B 43/08. Sposib vyhotovlennya biopolimerno-graviynoho filtra na filtrovii koloni [Method of manufacturing biopolymer-gravel filter on filter column]. (Patent Ukrainy № 159897) [in Ukrainian].
20. Sudakov, A.K., Pavlychenko, A.V., Zagrytseno, et al. (2025). Patent of Ukraine № 159896 MIIK E21B 43/08. Blokovy filtry burovykh sverdlovyn [Block gravel filter for boreholes]. (Patent Ukrainy № 159896) [in Ukrainian].
21. Johnson, A.I. (1963). *Filter pack and well screen design* U.S. Geological Survey. (b.d.). <https://pubs.usgs.gov/of/1963/0060/report.pdf>.

22. Smith, J., & Lee, A. (2023). Polylactic acid as biobased binder for the production of 3D printing feedstock. *Journal of Materials Processing Technology*, 312, 117892.
23. Wang, X., Chen, Y., & Zhang, L. (2021). Polylactic acid (PLA) biocomposite: Processing, additive manufacturing, and applications. *Polymers*, 13(8), 1326.

УДК 622.248.33

DOI: 10.33839/2708-731X-28-1-39-46

А. К. Судаков¹, А. Ю. Дреус², доктори технічних наук, **М.А. Дригола¹**, аспірант

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, E-mail: sudakov@ukr.net, Dryhola.Ma.A@ntu.one

²Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро, E-mail: dreus.andrii@gmail.com

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ЛІКВІДАЦІЇ ПОГЛИНАННЯ ПРОМИВКОВОЇ РІДИНИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ СВЕРДЛОВИН

Метою роботи є підвищення ефективності ізоляційних робіт за рахунок застосування термопластичних сумішей при ліквідації поглинань промивальної рідини у свердловинах при їх спорудженні. Поставлені завдання вирішували комплексним методом дослідження, що включає аналіз і узагальнення літературних і патентних джерел, проведення аналітичних, експериментальних досліджень.

У роботі отримала подальший розвиток теорія ліквідації поглинання технологічних рідин спорудженні свердловин. У роботі обґрунтовано послідовність технологічних операцій при ліквідації поглинання промивальної рідини у стовбурі свердловин. Показано перспективність використання запропонованих підходів для створення нових технологічних рішень.

Одержані результати створюють основу для розробки більш прогресивних технологій ліквідації зон поглинання свердловинної рідини; розробки нових матеріалів з використанням явищ фазового переходу тампонажного матеріалу; виробництва нових тампонажних термопластичних матеріалів; розробки технологічного регламенту ізоляції поглинаючих горизонтів.

Ключові слова: буріння свердловин, промивальна рідина, поглинання, тампонажні матеріали, розплав.

Постановка проблеми

Процес буріння свердловин пов'язаний із геологічними ускладненнями. Одним з найпоширеніших ускладнень є поглинання промивної рідини. На ліквідацію поглинань витрачається значна частка часу та коштів, що витрачаються на спорудження свердловини [1, 2].

Найбільш поширеним методом ізоляції поглинаючих горизонтів є заповнення каналів поглинання тампонажним розчином. Такий розчин з часом повинен тверднути з утворенням тампонажного каменю або загустити і зміцнутися, залишаючись в'язко-пластичною системою. В результаті навколо свердловини створюється водонепроникна оболонка, яка має бути стійкою до перепаду тисків системи «пласт-свердловина» при виконанні різних технологічних операцій [3, 4].

Оскільки розрахунок технологічних параметрів даної технології неможливо здійснити існуючими методиками, у роботі наведено комплекс досліджень зі створення ізоляційної оболонки з легкоплавких тампонажних матеріалів.

Метою роботи є підвищення ефективності ізоляційних робіт за рахунок застосування термопластичних сумішей при ліквідації поглинань промивальної рідини у свердловинах при їх спорудженні.