

© А.В. Павличенко<sup>1</sup>, А.О. Ігнатів<sup>1</sup>, Є.А. Коров'яка<sup>1</sup>, В.О. Расцветаєв<sup>1</sup>,  
Н.І. Затхей<sup>2</sup>, О.О. Дмитрук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

<sup>2</sup>ТОВ «Міжнародний виставковий центр», Київ, Україна

## ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПОРУДЖЕННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН В РІЗНИХ УМОВАХ

© A. Pavlychenko<sup>1</sup>, A. Ihnatov<sup>1</sup>, Ye. Koroviaka<sup>1</sup>, V. Rastsvietaiev<sup>1</sup>,  
N. Zatkhey<sup>2</sup>, O. Dmytruk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup>International Exhibition Center LLC, Kyiv, Ukraine

## STUDY FEATURES OF THE HYDROGEOLOGICAL WELLS CONSTRUCTION IN VARIOUS CONDITIONS

**Мета.** Розробка прогресивної технології спорудження водозабірної свердловини з піщаними породами-колекторами та удосконалення регламенту проведення ремонтно-відновлювальних робіт, що ґрунтуються на методах гідродинамічної імпульсної обробки фільтрової зони свердловини.

**Методика дослідження.** Аналітичні та лабораторні дослідження особливостей спорудження свердловин гідрогеологічної категорії, виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу і експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів. Протікання свердловинних бурових і гідрогеологічних процесів моделювалось на експериментальних свердловинах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурової установки УКБ-4П та відповідного допоміжного інструменту й обладнання.

**Результати дослідження.** Шляхом ґрунтового аналізу геологічних та гідрогеологічних умов визначено основні заходи, спрямовані на підвищення якості й результативності процесу спорудження гідрогеологічних свердловин питного і господарсько-промислового водопостачання. Виконано вибір техніко-технологічного супроводження і режимного забезпечення процесу спорудження та облаштування водозабірних свердловин, а також розглянуто окремі заходи з попередження виникнення ускладнень при бурінні та визначено раціональну послідовність виконання всіх основних і допоміжних операцій бурового циклу.

**Наукова новизна.** Створення надійного каналу зв'язку між продуктивним підземним водоносним горизонтом та поверхневим видобувним агрегатом, можливе лише за виконання певних, цілком структурованих, вимог щодо технології спорудження свердловини, розкриття продуктивного горизонту, монтажу водопідйомного обладнання та проведення спеціальних заходів із відновлення і підвищення дебіту даної гідрогеологічної свердловини.

**Практичне значення.** Розроблено комплексу технологію спорудження водозабірних свердловин, що максимально враховує геолого-технічні особливості проектованої ділянки, а також запропоновано удосконалений регламент проведення свердловинних робіт у водозаборах, які представлені рихлими водоносними відкладеннями; пропонується технологія може бути також впроваджена на інших ділянках з однойменними геологічними й гідрогеологічними умовами.

**Ключові слова:** спорудження свердловин, водозабірні свердловина, продуктивний горизонт, фільтр, ерліфт, насос, гірська порода, промивання, тиск, гідродинаміка, дебіт, пульсатор.

**Вступ.** Найбільш застосовуваним способом отримання питних або технічних вод є будівництво відповідних свердловин – водозабірних, призначених для міського, промислового і сільськогосподарського водопостачання, а також меліорації, зниження рівня ґрунтових вод, видобутку мінеральних термальних вод тощо. Тут важливо відзначити, що останнім часом спостерігається загальна стійка тенденція постійного збільшення об'ємів гідрогеологічного буріння [1].

Зазвичай спорудження водозабірних свердловин ведуть наступними основними способами: обертальним (переважно – роторним), з прямою або зворотною циркуляцією промивальної рідини; ударно-канатним; та дещо рідше шнековим й дуже рідко гідродинамічним. Але найбільше поширення в практиці одержав все ж обертальний спосіб, з промиванням споруджуваного стовбуру свердловини технічною водою або глинистим розчином [2].

Ударно-канатний спосіб, як такий, має певну звужену область застосування; перевагу йому віддають при необхідності спорудження свердловин у районах з недостатньо вивченим гідрогеологічним режимом, розкритті низьконапірних водоносних горизонтів, бурінні свердловин в районах, де неможливо організувати стабільне водопостачання для здійснення промивання свердловин; зазначений спосіб є пріоритетним при спорудженні свердловин великого діаметру [3].

Серед загальних рис порівнюваних способів, необхідно відмітити наступні основні: швидкість буріння обертальним способом в породах м'яких і середньої твердості, незалежно від глибини свердловини, значно вища в порівнянні зі швидкістю ударно-канатного способу; конструкція свердловин обертального способу буріння незрівнянно простіша, а металомісткість її значно менша, ніж при ударно-канатному бурінні.

Однак особливої уваги при розробці раціонального проекту спорудження гідрогеологічних свердловин, потребує етап складання конструкцій останніх та їх невід'ємного складового елемента – вибійної фільтрової частини, що має цілий ряд технічних і технологічних особливостей, які обумовлені широкою номенклатурою свердловин за призначенням (наприклад, пошукові, розвідувальні, розвідувально-експлуатаційні, експлуатаційні, водопонижувальні, спостережні тощо), а це, у свою чергу, зумовлює різноманітність обмежувальних чинників й конструктивних критеріїв [4].

**Актуальність досліджень.** Важливість бурових свердловинних технологій в процесах пошуку, розвідки, дослідження і експлуатації корисних копалин – різного генезу та призначення – переоцінити важко; відому роль вони також відіграють у разі виконання робіт із водопостачання.

Дедалі все більш гостро постає проблематика незбіжності якісних показників використаної води із відповідними діючими стандартами і нормами, проте розв'язання означеної задачі технічно можливе, і полягає воно в більш широкому використанні свердловинного видобутку підземних вод [5].

При спорудженні експлуатаційних водозабірних свердловин виникають проблеми, найважливішими з яких, через, насамперед, значну кількість вказаних гірських виробок, є зниження собівартості видобутку, запобігання екологічному забрудненню і порушенню структури підземних водоносних горизонтів, а також якнайповніше і рівномірне освоєння конкретного родовища.

Переважає більшість гідрогеологічних свердловин експлуатують продуктивні горизонти, складені здебільшого рихлими відкладеннями; такі водоносні колектори зустрічаються не лише серед порівняно молодих відкладень, вони можуть також, за певних умов, оформлюватися в глибоко розташовані, наприклад, слабозцементовані пісковики.

Будівництво свердловин гідрогеологічного призначення, в переважній більшості випадків, здійснюється за принципом розвідувально-експлуатаційних, які, як відомо, буряться як експлуатаційні, з відповідними діаметрами окремих ділянок і фільтровими системами, але з достатньо повним урахуванням умов обмеженості необхідної інформації про геологічні і гідрогеологічні особливості ділянки робіт. Саме такі свердловини вимагають формування до них деяких специфічних обмежувальних критеріїв, які полягають, окрім іншого, у забезпеченні можливості проведення певних гідрогеологічних дослідних робіт (визначення наявності, кількості та гідродинамічних властивостей водоносних горизонтів в даному геологічному розрізі) [6].

Позитивність і витримка необхідної якості окреслених дослідних робіт, а саме встановлення регламентованих характеристик підземних вод та виявлення переконливої можливості експлуатації об'єкту з необхідним заданим дебітом, дають підстави переводити отримані свердловини в категорію експлуатаційних.

Особливою ретельністю повинні відрізнятися дослідження спрямовані на визначення водопроникності порід, їх здатності зберігати і, відповідно, змінювати свої властивості, коли вони стають об'єктом інженерної діяльності. Одночасно повинні задовольнятися вимоги відсутності негативних впливів на навколишнє середовище [7].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Комплексне вирішення питань забезпечення потреб промисловості та населення різними корисними копалинами, в тому числі їх яскравим представником – водою, неможливе без застосування бурових робіт, покликаним яких є створення надійного каналу зв'язку – свердловини, між продуктивним підземним горизонтом та поверхневим видобувним агрегатом. Однак спорудження гідрогеологічних свердловин, які у повній мірі відповідають всьому комплексу обмежувальних вимог, пов'язане із значною капіталомісткістю процесу їх будівництва [1].

Істотне зниження собівартості свердловинного видобутку води можливо, в основному, за рахунок спорудження високодебітних експлуатаційних каналів, що найбільш повно використовують потенціал продуктивного пласта. Можливість зниження собівартості видобутку води прослідковується і необхідності мінімізації експлуатаційних витрат, які залежать від наявності в корисній копалині, в даному випадку – води, фрагментів породи-колектора і інших чужорідних домішок, а також рівня енергоємності відкачувань.

Мінімізація капітальних витрат на спорудження свердловини, як такої, може бути досягнута за рахунок обґрунтованого спрощення її конструкції, а також технології будівництва, та застосуванням удосконалених методів і прийомів з відновлення та підвищення дебіту і запобігання руйнуванню структури породи-колектора.

Необхідно якнайповніше уникати появи можливостей забруднення водоносних горизонтів, що яскраво спостерігаються в процесі буріння при значному проникненні фільтрату і реагентів углиб продуктивного пласта при поглинанні, а також в процесі експлуатації при з'єднанні горизонтів різного пластового тиску, виникненні затрубних перетікань через неякісну ізоляцію окремих породних пластів.

Рівень продуктивності водозабірних свердловини, багато в чому, визначається і способом розкриття продуктивного горизонту та властивостями відповідного агенту. Реалізуються, з тією, або іншою кінцевою результативністю, такі способи розкриття водоносних пластів: прямий (промивальна рідина подається до породоруйнівного інструменту по бурильних трубах, а по кільцевому проміжку між бурильними трубами і стінками свердловин піднімається на поверхню); зворотний (промивальна рідина поступає у свердловину через герметично закрите гирло по стовбуру свердловини і піднімається по бурильних трубах на поверхню) [8].

**Мета статті** – розробка прогресивної технології спорудження водозабірної свердловини з піщаними породами-колекторами та удосконалення регламенту проведення ремонтно-відновлювальних робіт, що ґрунтуються на методах гідродинамічної імпульсної обробки фільтрової зони свердловини.

**Обґрунтування вживання і опис вибраної автором методики.** Аналітичні та лабораторні дослідження особливостей споруджування свердловин гідрогеологічної категорії, виконано із застосуванням сучасних методів аналітичного аналізу і експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольно-вимірювальних приладів і матеріалів [9]. Протікання свердловинних бурових і гідрогеологічних процесів моделювалось на експериментальних свердловинах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням бурової установки УКБ-4П та відповідного допоміжного інструменту й обладнання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до геоструктурного районування, територія розглядуваної ділянки розташована в зоні зчленування геологічних структур: Українського щита – брилового підняття кристалічного фундаменту (УКЩ), складеного кристалічними породами архей-протерозою і Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), заповненої потужною товщею осадових палеозойських, мезозойських та кайнозойських відкладів, що обумовлює складність її гідрогеологічних умов [10].

Поверхня кристалічного фундаменту в цілому занурюється з південного заходу на північний схід з наявністю (за даними електророзвідки) значних піднять

та западин як тектонічного, так, можливо, і ерозійного походження. Породи фундаменту розбиті густою сіткою розривних порушень, серед яких є порушення північно-західного та субширотного простягання. Деякі розривні порушення проявляються в верхніх стратиграфічних комплексах осадового чохла та служать додатковими шляхами, по яких відбувається вертикальний рух підземних вод. Верхній структурний поверх складений осадовими породами тріасового, юрського, крейдового, палеогенового, неогенового та четвертинного віків, які занурюються так само, як і кристалічний фундамент – на північний схід та схід.

На протязі палеозою прогином поступово захоплювалась усе більша площа УКЩ і ДДЗ розширювалась на південний захід. На протязі мезозою тенденція до занурення ДДЗ зберігалася. В кайнозої амплітуда прогинання значно зменшилася і здійснювалося накопичення морських відкладів.

Відклади палеогену повністю вирівняли існуючий раніше уклін до північного сходу завдяки ерозійній діяльності.

Виконаними геологічними дослідженнями відмічено, що усі коливання мали ритмічний характер і найбільш крупні рухи, що мали один і той же знак, проходили, приблизно на протязі двох-трьох геологічних віків, а дрібні – декілька разів на протязі одного віку [11].

В геологічній будові району робіт виділяються такі структурні поверхи: нижній – утворення нижнього протерозою, та верхній, представлений осадовими утвореннями: палеозой-мезозойською корою вивітрювання кристалічних порід, відкладами мезозою та палеогенової, неогенової і четвертинної систем.

Породи нижнього протерозою на території району представлені складно дислокованою метаморфічною гнейсовою товщою інгуло-інгулецької серії, ультраметаморфічними мігматитами і гранітами та метасоматичними породами Кіровоградсько-Житомирського комплексу, прорваними середньо-протерозойськими дайками порід основного і ультраосновного складу (габро, габро-анортзити, норити).

Палеозой-мезозойські утворення в межах району представлені корою вивітрювання кристалічних порід, яка має повсюдне поширення за винятком виходів кристалічних порід на денну поверхню, а також місць розмиву її в неогеновий та четвертинний періоди.

В межах території родовища підземних вод породи мезозою представлені осадками тріасової, юрської та крейдової систем.

Відклади тріасової системи в даному районі представлені осадкоутвореннями радченковської світи інгуло-інгулецької серії нижнього відділу (T<sub>1rd</sub>). Серед них виділяються нижня піщана товща (до 75% потужності) і верхня глиниста. В більшості випадків в підшві тріасових відкладів залягають світло-сірі або блакитно-сірі пісковики з рідкими буровато-червоними розводами. Глини верхньої частини, зазвичай, цегляно-червоні, місцями плямисті, монтморилонітові.

Юрська система (J) в межах району робіт представлена відкладами байоського та батського ярусів середнього відділу.

В межах району робіт відклади крейдової системи представлені тільки осадкоутвореннями альбського ярусу.

Кайнозойські відклади у межах ділянки водозабору представлені осадами канівської та бучацької свит палеогену і відкладами четвертинної системи. Осадоутворення неогенової системи поширені північніше району робіт за його межами.

Палеогенова система (Р) в межах даної території представлена відкладами канівської (Р<sub>2</sub>kn) та бучацької свит (Р<sub>2</sub>bc).

Четвертинні відклади суцільним плащеподібним чохлам перекривають усю територію робіт. Відсутні вони лише на крутих схилах річкових долин, балок та в бортах глибоких ярів, де вони розмиті і на денну поверхню виходять дочетвертинні відклади [12].

В районі робіт відклади четвертинної системи з ерозійним розмивом залягають на осадоутвореннях палеогену, крейди і, на окремих ділянках, на відкладах тріасу, а також на кристалічних породах та їх корі вивітрювання.

Осадонакопичення відкладів четвертинної системи відбувалося під впливом неотектоніки та ерозійно-акумулятивних і еолових процесів.

В геологічному розрізі четвертинних відкладів виділяються нижній, середній, верхній плейстоцен та сучасний (голоцен) відділи.

Сучасні відкладення (Н) представлені алювіальними, алювіально-делювіальними, делювіальними, пролювіальними, елювіальними відкладами та техногенними утвореннями.

Відповідно до геологічної будови на території, що розглядається, в осадових утвореннях виділяються водоносні горизонти і комплекси, приурочені до четвертинних, палеогенових, крейдових, юрських та тріасових відкладів, а також зони вивітрювання та тріщинуватості кристалічних порід фундаменту, а основні слабopronikні шари, представлені глинами байоського ярусу юри [10].

В районі виконання робіт виділяються наступні водоносні горизонти та комплекси: водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів заплавлі річок та балок; водоносний комплекс в алювіальних відкладах нижнього-середнього неоплейстоцену і воднольодовикових відкладах середнього неоплейстоцену; водоносний комплекс у відкладах канівського та бучацького регіоярусів палеогену; водоносний горизонт у відкладах альбського ярусу нижньої крейди; водоносний горизонт у відкладах байоського ярусу середньої юри; водоносний горизонт у відкладах нижнього тріасу; водоносний комплекс у тріщинуватій зоні кристалічних порід і їх кори вивітрювання.

Геологічна і гідрогеологічна характеристика ділянки, відведеної під будівництво свердловини приводиться на підставі матеріалів буріння і випробування відкачуванням сусідніх експлуатаційних свердловин. За матеріалами буріння цих свердловин встановлено, що в геологічній будові проектованої ділянки беруть участь водоносні породи і комплекси, приурочені до четвертинних, палеогенових, крейдових, юрських та тріасових відкладень [5].

В табл. 1. приведена геолого-гідрогеологічна характеристика розрізу зверху вниз.

Таблиця 1

Геолого-гідрогеологічна характеристика розрізу водозабірної свердловини

Геологічний індекс	Короткий опис порід	Глибина підшви шару, м	Категорія за буримістю	Зони можливих ускладнень
gII <sub>sz</sub>	Грунтово-рослинний шар	2	I	
	Льос	6	II	
flgII <sub>dn-sz</sub>	Пісок	18	II	Часткове поглинання
gII <sub>dn</sub>	Глина	24	III	Набрякання порід, звуження стовбуру
	Суглинок	29	IV	
gI <sub>br</sub>	Пісок	38	II	Обвалення стінок свердловини
K <sub>2s</sub>	Аргіліт	40	VI	
	Мергель	46	IV	
D <sub>2 nr</sub>	Пісок дрібнозернистий	58	II	

Коротко проектний геологічний розріз можна охарактеризувати так: категорія порід за буримістю I - VI (м'які та середні гірські породи). При бурінні можливі наступні ускладнення: часткове поглинання промивальної рідини; набрякання порід і, як слідство, звуження стовбуру; обвалення стінок свердловини. Водонесний горизонт достатньо потужний, складений дрібнозернистим піском. Має потужність 12 метрів. Категорія за буримістю – друга. Глибина залягання покрівлі водонесного пласта – 46 метрів. Водонесний горизонт має надійний водонепроникний екран, представлений мергелями, з потужністю у вертикальній площині 6 м.

Аналіз даних гідрогеологічного буріння дозволяє виділити найбільш характерні типи свердловин: за глибинами: 0 - 100 м, 0 - 300 м, 0 - 500 м і більш; за кінцевим діаметром буріння: до 151 мм, більше 151 мм. Конструкція кожного типу свердловин характеризується відносною постійністю [6].

Під час спорудження гідрогеологічної свердловини буровий розчин повинен виконувати наступні основні функції [8]: очищати свердловину від шламу і виносити його на поверхню; утримувати частинки вибуреної породи в зваженому стані при зупинці циркуляції розчину; охолоджувати долото; створювати тиск на стінки свердловини для попередження обвалів породи, а також водопроявів; забезпечувати збереження проникності продуктивного пласта при його розкритті в цілях подальшої експлуатації.

Залежно від геологічного розрізу промивальні рідини не обробляються або обробляються хімічними реагентами. Перші застосовуються за нормальних геологічних умов (вода і нормальний глинистий розчин), другі – за ускладнених умов буріння (спецрозчини).

В табл. 2 наведені конкретні рекомендації щодо вибору ефективних промивних систем для спорудження свердловин в товщах м'яких осадових порід.

Таблиця 2

Рекомендації щодо вибору очисних агентів для складних умов буріння

Ускладнення	Типові породи	Рекомендовані очисні агенти
Обвали, розмив	Піски	Глинясті і крейдянні розчини з підвищеною кількістю твердої фази, обважені розчини
Обвали, набухання, пластична течія, розмив	Суглинки, глини, піщано-глинясті ґрунти	Інгібовані глинясті розчини, крейдянні, сапропелеві розчини
Обвали, осипи, слабе набухання, пластична течія, розмив	Сланці глинясті	Інгібовані глинясті і крейдянні розчини, із зниженою водовіддачею. В окремих випадках глинясті розчини
Обвали, осипи, слабкий розмив, вивали	Сланці піщано-глинясті	Глинясті і крейдянні розчини. Розчини на основі вибурених порід, силікатно-гумінові, полімерні, комбіновані

Промивальна рідина вибирається залежно від властивостей перетинаємих порід і інших умов (збереження водопроникності пласта і ін.). Наприклад, при бурінні свердловин в стійких породах застосовується промивка водою. При приготуванні глинистих розчинів необхідно контролювати наступні їх основні технологічні параметри (табл. 3).

Таблиця 3

Типи і параметри деяких видів промивальних рідин на основі глини

Тип промивальної рідини, розчина	Основні технічні параметри				
	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Умовна в'язкість $T$ , с	Водовіддача $V$ , см <sup>3</sup> /30 хв.	Напруга зсуву, Па	
				динамічна	статична
Нормальний глинистий	1070 - 1130	20 - 24	20 - 30	17 - 20	7,4 - 13
Нормальний глинистий з підвищеною кількістю глини	1150 - 1200	25 - 30	25 - 35	18 - 20	8 - 14
Покращений глинистий	1060 - 1100	19 - 23	12 - 15	19 - 21	8,2 - 15
Малоглинистий полімер-бентонітовий	1040 - 1060	16 - 33	3 - 12	2 - 4	1 - 3
Обважений баритом глинистий	1600 - 1900	25 - 60	5 - 6	17 - 25	17 - 24
Розчин на основі вибурених глинистих порід необроблених	1020 - 1050	16 - 20	25 - 30	8 - 12	2,5 - 6

При приготуванні глинистого розчину здійснюють додаткове диспергування глини. Ступінь дисперсності глинистих часток залежить від інтенсивності здрибнювання, фізико-хімічного і мінералогічного складу глини [6].

З метою виконання пробних відкачувань, при різних пониженнях рівня та освоєння гідрогеологічних свердловин, широко застосовують такі типи водопідіймальних установок: ерліфт, гідроелеватор.



Принцип дії ерліфта заснований на тому, що в двох сполучених посудинах положення рівнів рідин при різній питомій вазі неоднаково, причому, рідина з меншою питомою вагою має вищий рівень.

Водоструминна установка (гідроелеватор) відноситься до струминних водопідйомників, в яких рідина зі свердловини подається на поверхню землі за рахунок енергії допоміжної робочої рідини, що підводиться у свердловину. Для цього гідроелеватор включає поверхневий відцентровий насос (або поршневий) з електродвигуном та занурений струминний, і дві колони труб. Одна колона – напірний трубопровід – сполучає поверхневий насос із зануреним струминним насосом і призначена для подачі у свердловину робочого потоку рідини, а інша є каналом транспортування відкачуваної рідини на поверхню.

Завершальні роботи у водозабірних свердловинах складаються з наступних операцій: монтаж фільтру, обладнання свердловини зануреним електричним насосом ЕВВ, під час експлуатації якого забороняється: включати електронасос безпосередньо від мережі; здійснювати багатократні повторні запуски електронасоса; здійснювати запуск електронасоса, електродвигун якого не залитий водою; включати в роботу не заповнений і не занурений у воду електронасос, що призведе до неминучої аварії.

Монтаж фільтру проводиться таким чином: спуск фільтрової колони здійснюється на колоні бурильних труб, які приєднуються до фільтрової на лівому перехіднику. Після установки фільтрової колони, на вибій подається піщано-гравійне обсіпання, а після його розміщення, монтується глиняний або гумовий сальник. Після цього бурильну колону повертають вліво і підводять, тим самим від'єднуючи її від фільтрової колони. Сальник служить для запобігання потрапляння неочищеної води і породи із зони продуктивного пласта в експлуатаційну колону.

Перед встановленням насоса ЕВВ, свердловину необхідно прокачати ерліфтом, оскільки наявність в ній піску і стороннього сміття неминуче приведе до аварії.

Основне завдання при відновленні дебіту свердловин на воду, обладнаних фільтрами – видалення кольматуючих відкладень з фільтра і з прифільтрової зони [8]. При цьому основні труднощі полягають у видаленні кольматанту з зовнішньої поверхні фільтра і з гравійного обсіпання.

Імпульсні методи повинні забезпечити збереження фільтра при руйнуванні кольматуючих утворень. Вони включають способи, засновані на створенні усередині фільтра й у прифільтровій зоні миттєвого перепаду тиску, що приведе до ударних навантажень і створення фільтраційних потоків змінного напрямку при значних градієнтах.

При освоєнні водоносного горизонту після його розкриття і установки фільтру запропонована технологія його обробки гідравлічними імпульсами високої інтенсивності: частота 200 - 1000 Гц, кратне підвищення тиску в імпульсі від середнього перепаду тиску в пристрої. Як генератор імпульсів пропонується пристрій у вигляді трубки Вентурі, що дозволяє отримувати явище кавітації (рис. 1).

Пристрій не має рухомих частин. Монтується як елемент бурової колони на стандартних з'єднаннях. Не вимагає застосування додаткового енергетичного і насосного устаткування.

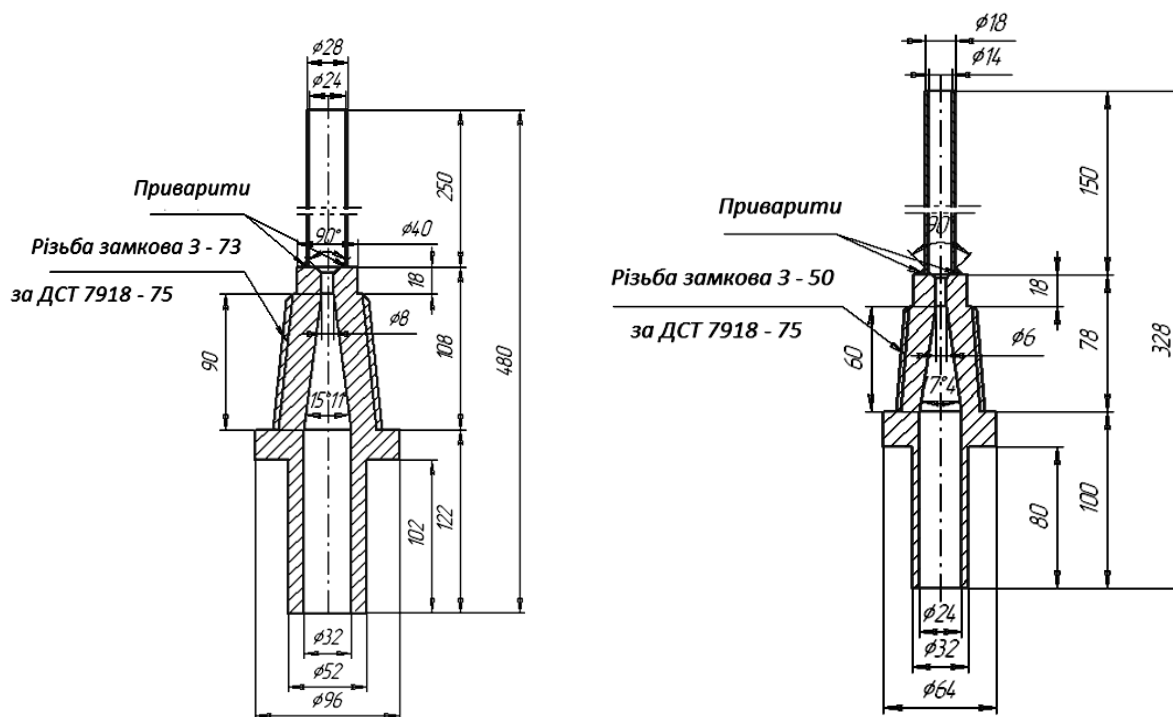


Рис. 1. Гідродинамічні генератори імпульсів

Основні конструктивні характеристики та технічні параметри розроблених гідродинамічних генераторів імпульсів, представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Характеристики гідродинамічних пульсаторів тиску

Параметр	Найменування пристрою	
	ГПТ-8	ГПТ-6
Діаметр корпусу, мм	96	64
Діаметр критичного отвору, мм	8	6
Кут розкриття дифузора, град	до 30	до 20
Робоча рідина	технічна вода	
Витрата рідини, м <sup>3</sup> /с × 10 <sup>-3</sup>	3 - 6	2,5 - 5
Робочий перепад тиску, МПа	2 - 5	1,5 - 2,5
Частота імпульсів, Гц	500 - 1200	500 - 1200
Довжина, мм	480	328
Маса, кг	12	8,4
Тип приєднувальної різьби	3 - 73	3 - 50

Технологія обробки водоносного пласта проводиться для двох станів експлуатації свердловин в часі: знову пробурена свердловина, дебіт якої необхідно

збільшити шляхом розглинізації фільтру і прифільтрової частини водоносного пласта; свердловина тривалий час була в експлуатації, дебіт якої значно знизився і вимагає відновлення.

Ефективність використання пристрою для обробки водоносних пластів визначається шляхом порівняння дебітів свердловини до і після обробки водоносного горизонту гідродинамічним пульсатором. Для цього здійснюють пробне відкачування до, і після обробки водоносного горизонту. Тривалість відкачувань приймається відповідно до існуючих норм на експлуатацію гідрогеологічних свердловин, але не менше 0,5 год.

Величина подачі рідини у свердловину через гідродинамічний пульсатор приймається такою, щоб робочий тиск був максимальним, але таким, що не перевищує 4 МПа на насосі.

Обробка знову пробурених гідрогеологічних свердловин і «старих», дебіт яких необхідно відновити, проводять за однаковою технологією:

1. Перед початком обробки горизонту заміряють статичний рівень води у свердловині. Визначають дебіт свердловини шляхом проведення пробного відкачування. Найбільш простим і надійним способом для пробного відкачування води є ерліфт. Тривалість прокачування вибирається відповідно до існуючих рекомендацій і повинна складати 0,5 - 1 год. Після промивання свердловини ерліфтом проводиться пробне відкачування протягом 0,2 - 0,3 год, при якому визначається дебіт свердловини і величина динамічного рівня.

2. Снаряд з ерліфтом витягається зі свердловини і спускається на бурильних трубах гідродинамічний пульсатор. Задається подача промивальної рідини, що дорівнює 120 - 150 л/хв і швидкість вертикального переміщення 0,1 м/хв. При такому режимі проводиться обробка водоносного горизонту (фільтру) по усій довжині. Час обробки вибирається з умови повної обробки фільтру, але не менше 20 хв.

3. Снаряд з пульсатором витягається зі свердловини і проводиться відкачування води ерліфтом протягом 0,2 - 0,3 год з виміром дебіту свердловини і рівня води в ній.

4. Снаряд з ерліфтом витягається зі свердловини і спускається з гідродинамічним пульсатором. Проводиться обробка водоносного горизонту по усій довжині фільтру (водоносного горизонту). Режим обробки вибирають наступний: подача промивальної рідини 180 - 250 л/хв, швидкість вертикального переміщення 0,2 м/хв. Тривалість обробки приймається такою ж, як при першій обробці, тобто має бути проведена подвійна обробка фільтру при русі гідродинамічного пульсатора вниз, а потім вгору.

5. Снаряд витягають зі свердловини і спускають ерліфт. Проводять пробне відкачування води зі свердловини протягом 0,2 - 0,3 год з виміром дебіту і рівня води у свердловині.

6. Витягають снаряд з ерліфтом і спускають гідродинамічний пульсатор. Проводять обробку усєї довжини фільтру при наступному режимі: подача рідини 200 - 300 л/хв, швидкість вертикального переміщення 0,2 м/хв. Час обробки

вибирається з умови подвійної обробки фільтру на усій довжині, тобто при переміщенні гідродинамічного пульсатора вниз, а потім вгору. Час обробки може бути прийнятий іншим, але він повинен складати не менше 30 хв.

При відкачуваннях заміряються наступні величини: дебіт води зі свердловини, рівень води у свердловині, кількість твердих часток (наприклад глинистих) у воді шляхом осадження їх протягом 30 хв в скляній місткості.

Після проведення обробки оглядають і вимірюють контрольні розміри внутрішнього конусного отвору гідродинамічного пульсатора – випромінювача і трубки постдифузора з метою визначення їх абразивного зносу, викликаного дією кавітації і абразивних часток.

Вимір дебіту свердловин здійснюється шляхом визначення часу наповнення посудини з відомим об'ємом. Час вимірюється секундоміром.

Рівень води у свердловині заміряється спеціальним рівнем.

З метою підвищення ефективності обробки водоприймальної частини свердловини (фільтру) рекомендується до трубки постдифузора включати направляючу голівку (рис. 2).

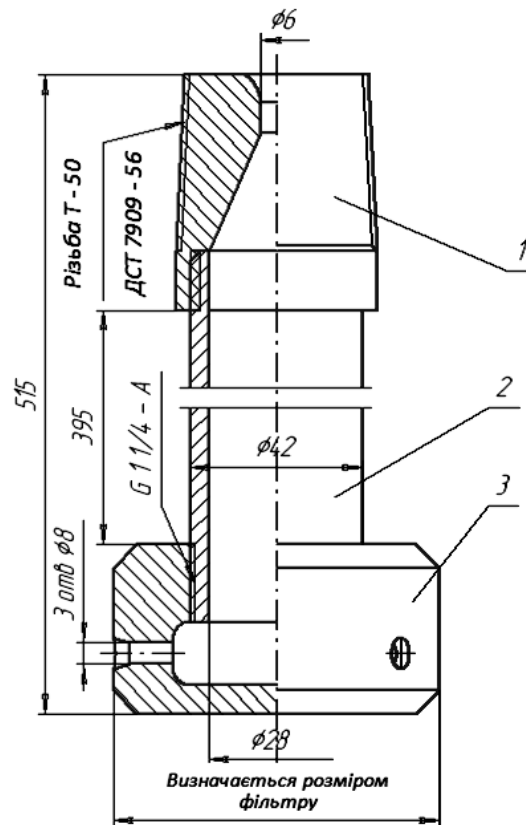


Рис. 2. Пульсатор с направляющей головкой: 1 – пульсатор; 2 – трубка постдифузора; 3 – головка

Застосування гідродинамічного пульсатора не пред'являє додаткових вимог до устаткування, технологічного оснащення і організації робіт на буровій. Буровий насос, використовуваний при обертальному бурінні як технічний засіб промивання, в даному випадку є також приводом гідродинамічного пульсатора.

Тому слід регулярно проводити огляд бурового насоса і у разі виявлення яких-небудь відхилень, необхідно негайно їх усувати.

Бурова повинна оснащуватися контрольно-вимірювальними пристроями і, в першу чергу, витратоміром промивальної рідини. У разі його відсутності на буровій необхідно не рідше за один раз на добу здійснювати перевірку продуктивності насоса під навантаженням за допомогою мірної місткості, оскільки саме продуктивність насоса визначає ефективність роботи пульсатора.

Термін служби гідродинамічного пульсатора залежить від якості промивальної рідини. Необхідно проводити очищення промивальної рідини від шламу. Окрім того, отвір пульсатора може забиватися механічними включеннями, що знаходяться в промивальній рідині. Тому необхідно особливо ретельно дотримуватися заходів щодо очищення промивальної рідини, а хrapок всмоктуючого шланга повинен поміщатися в каркас, обтягнутий спеціальною затримуючою сіткою.

**Висновки.** Наведено відомості щодо геологічної та гідрогеологічної характеристики Дніпровсько-Донецької западини і Українського щита у розрізі умов експлуатації водоносних горизонтів. Здійснено аналіз конструкцій водоприймальної частини, і, в цілому, водозабірної свердловини та визначено характеристики водопідіймального обладнання для тимчасових і постійних відкачувань. Надано змістовні визначення технології монтажу фільтрової колони та відцентрового насоса, а також методам і прийомам ефективного розкриття і освоєння водоносних горизонтів. Пропоновані техніко-технологічні рішення щодо проведення бурових і допоміжних робіт, базуються на вичерпних даних відносно літологічного складу (геологічної будови), фізико-механічних властивостей порід, інших гірничо-геологічних і гідрогеологічних особливостей ділянки провадження означеної діяльності; для запобігання ускладнень при бурінні свердловин, в роботі розглянуто низку заходів технологічного характеру, що повністю унеможливають виникнення позаштатних ситуацій. Надано змістовні рекомендації щодо організації робіт зі спорудження та експлуатації водозабірної свердловини. Розглянуто питання виконання бурових та суміжних робіт з облаштування комплексів експлуатації водоносних горизонтів.

#### Перелік посилань

1. Колпашников, Г.А. (2016). *Бурение и оборудование гидрогеологических и водозаборных скважин*. БНТУ.
2. Войтенко, В., & Вітрик, В. (2012). *Технологія і техніка буріння*. Центр Європи.
3. Hossain, M.E., & Islam, M.R. (2018). *Drilling engineering: problems and solutions*. Scrivener publishing.
4. Коровяка, Є.А., Хоменко, В.Л., Винников, Ю.Л., Харченко, М.О., & Расцветаев, В.О. (2021). *Буріння свердловин*. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка».
5. Костюченко, М.М., & Шабатин, В.С. (2005). *Гідрогеологія та інженерна геологія*. «Київський університет».
6. Дудля, М.А., & Садовенко, І.О. (2007). *Техніка та технологія буріння гідрогеологічних свердловин*. Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т».
7. Коржнев, М.М. (2005). *Екологічна геологія*. «Київський університет».

8. Башкатов, Д.Н., Драхлис, С.Л., Сафонов, В.В., & Квашнин, Г.П. (1988). *Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду*. Недра.
9. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Springer.
10. Свинко, Й.М., & Сивий, М.Я. (2003). *Геологія*. Либідь.
11. Суярко, В.Г., & Сердюкова, О.О. (2012). *Основы геології*. ПолНТУ.
12. Адаменко, О.М., Рудько, Г.І., & Чепіжко, О.В. (2010). *Геологія з основами геоморфології*. Че Букрек.

### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Разработка прогрессивной технологии сооружения водозаборной скважины с песчаными породами-коллекторами и усовершенствование регламента проведения ремонтно-восстановительных работ, которые основываются на методах гидродинамической импульсной обработки фильтровой зоны скважины.

**Методика исследования.** Аналитические и лабораторные исследования особенностей сооружения скважин гидрогеологической категории, выполнено с применением современных методов аналитического анализа и экспериментальных исследований, в частности путем использования общих принципов математического и физического моделирования, методик обработки результатов исследований в среде EXCEL, MATHCAD, контрольно-измерительных приборов и материалов. Протекание скважинных буровых и гидрогеологических процессов моделировалось на экспериментальных скважинах учебного бурового полигона Национального технического университета «Днепровская политехника» с применением буровой установки УКБ-4П и соответствующего вспомогательного инструмента и оборудования.

**Результаты исследования.** Путем углубленного анализа геологических и гидрогеологических условий определены основные мероприятия, направленные на повышение качества и результативности процесса сооружения гидрогеологических скважин питьевого и хозяйственно-промышленного водоснабжения. Выполнен выбор технико-технологического сопровождения и режимного обеспечения процесса сооружения и обустройства водозаборных скважин, а также рассмотрены отдельные мероприятия по предупреждению возникновения осложнений при бурении и определена рациональная последовательность выполнения всех основных, а также вспомогательных операций бурового цикла.

**Научная новизна.** Создание надежного канала связи между продуктивным подземным водоносным горизонтом и поверхностным добывающим агрегатом, возможно лишь при выполнении определенных, полностью структурированных, требований относительно технологии сооружения скважины, раскрытия продуктивного горизонта, монтажа водоподъемного оборудования и проведения специальных мероприятий, направленных на возобновление и повышение дебита данной гидрогеологической скважины.

**Практическое значение.** Разработана комплексная технология сооружения водозаборных скважин, которая максимально учитывает геолого-технические особенности проектируемого участка, а также предложен усовершенствованный регламент проведения скважинных работ в водозаборах, которые представлены рыхлыми водоносными отложениями; предлагаемая технология может быть также внедрена на других участках с одноименными геологическими и гидрогеологическими условиями.

**Ключевые слова:** *сооружение скважин, водозаборная скважина, продуктивный горизонт, фильтр, эрлифт, насос, горная порода, промывка, давление, гидродинамика, дебит, пульсатор.*

### ABSTRACT

**Purpose.** Development of an advanced technology for the construction of a water intake well with sandy reservoir rocks and improvement of the repair and restoration procedure, which are based on the methods of hydrodynamic impulse treatment of the filter zone of the well.

**Research methodology.** Analytical and laboratory studies of the features of the construction of wells of the hydrogeological category were carried out using modern methods of analytical analysis and experimental research, in particular by using the general principles of mathematical and physical modeling, methods for processing research results in the EXCEL, MATHCAD environment, instrumentation and materials. The flow of borehole drilling and hydrogeological processes was simulated at the experimental wells of the training drilling area of the Dnipro University of Technology using the UKB-4P drilling rig and the corresponding auxiliary tools and equipment.

**Research results.** By means of an in-depth analysis of geological and hydrogeological conditions, the main measures aimed at improving the quality and efficiency of the process of constructing hydrogeological wells for drinking and industrial water supply have been determined. The choice of technical and technological support and regime support of the process of construction and arrangement of water supply wells was made, as well as individual measures to prevent the occurrence of complications during drilling were considered, and a rational sequence for performing all the main and auxiliary operations of the drilling cycle was determined.

**Originality.** The creation of a reliable communication channel between the productive aquifer and the surface production unit is possible only if certain fully structured requirements are met. The latter relate to the technology of well construction, the opening of the productive horizon, the installation of water-lifting equipment and the implementation of special measures aimed at resuming and increasing the flow rate of this hydrogeological well.

**Practical implications.** An integrated technology for the construction of water intake wells has been developed, which maximally takes into account the geological and technical features of the projected site, and also an improved procedure for well work in water intakes, which are represented by loose aquiferous sediments, has been proposed; The proposed technology can also be implemented in other areas with the same geological and hydrogeological conditions.

**Keywords:** *well construction, water well, productive horizon, filter, airlift, pump, rock, flushing, pressure, hydrodynamics, flow rate, pulsator.*