

Рибак А.В., аспірант, 185А-24-10

Науковий керівник: Коровяка Є.А., к.т.н., завідувач кафедри НГІБ

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ПРИСТРОЇ ДЛЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРИВИБІЙНОЇ ЗОНИ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН

Гідрогеологічні свердловини відіграють ключову роль у забезпеченні стійкого водопостачання для промисловості, сільського господарства та муніципальних систем. З часом продуктивність таких свердловин знижується через забивання привибійної зони (ПЗ) продуктами корозії, осадами мінералів, органічними забрудненнями та механічними домішками. Ці процеси призводять до зменшення проникності пласта на 20–50% від початкових значень, що вимагає регулярної реабілітації. Гідродинамічна обробка ПЗ є одним з найбільш ефективних і екологічно безпечних методів відновлення, оскільки базується на використанні потоків рідини для створення імпульсів тиску, кавітації та ерозії забруднень без застосування агресивних хімікатів. Цей підхід дозволяє не лише очистити перфоровану зону та гравійний пакет, але й підвищити проникність віддаленої частини пласта на 30–100%, залежно від геологічних умов [1].

Принцип гідродинамічної обробки полягає в генерації контрольованих гідравлічних імпульсів, які створюють локальні зони низького та високого тиску в ПЗ. У фазі депресії (розрідження) рідина з пласта викачується, розкриваючи пори та тріщини; у фазі репресії (затискання) активна рідина (зазвичай вода) впорскується під високим тиском, розмиваючи забруднення та стимулюючи міграцію частинок. Циклічне чергування цих фаз посилює ефект за рахунок кавітаційних бульбашок, які імплодують з утворенням ударних хвиль до 1000 атм. Такі процеси особливо актуальні для гідрогеологічних свердловин глибиною 50–500 м, де домінують некарбонатні породи з низькою природною проникністю ($k < 10$ мД) [2].

Одним з найпоширеніших пристроїв для гідродинамічної обробки є струменеві системи високого тиску, такі як WellJet, розроблений для реабілітації водних свердловин. Цей пристрій складається з масиву самоповоротних сопел, які генерують ламінарні струмені води під тиском до 20 000 рсі (близько 1380 бар). Сопла, виготовлені з корозійностійкої сталі, обертаються за рахунок реактивної сили, забезпечуючи рівномірне охоплення перфорованої зони на кут 360°. Під час спуску на тросі або трубах пристрій проникає в гравійний пакет і привибійну зону на глибину до 1–2 м, розриваючи зв'язки між відкладами та породою. Ефективність WellJet підтверджена відновленням продуктивності до 1000% у свердловинах з іонними забрудненнями, при цьому витрата води становить лише 10–20 л/хв, а час обробки – 2–4 години на 100 м глибини [3]. Перевагою є відсутність хімічних добавок, що робить метод придатним для моніторингових свердловин у природоохоронних зонах.

Більш складні системи базуються на ежекторних насосах з пакерами. Такі пристрій включає трубний струна, штангу з внутрішнім каналом, верхній і нижній пакери для ізоляції кільцевого простору, а також корпус ежекторного насоса з центральним стеблом, соплом, дифузором і змішувальною камерою. Верхній пакер прохідний, з манжетою для аксіального переміщення штанги; нижній – глухий, у формі знімного мосту для механічної взаємодії з трипозиційним клапаном. Кавітатор на кінці штанги оснащений радіальними соплами та отворами для генерації імпульсів. Процес починається зі спуску агрегату: пакери фіксують інтервал пласта, штанга переміщується в зону низької проникності. У депресійному циклі активна рідина подається на сопло насоса, викачуючи пластову воду через канали змішування; гідравлічний мотор з переривником потоку створює періодичні імпульси, незалежні від напрямку течії. У репресійному

циклі пружинний телескопічний з'єднання розширюється, спрямовуючи рідину в кавітатор, де утворюються каскади кавітаційно-ударних пульсацій для рівномірного розкриття пласта. Цей метод дозволяє проводити гідророзрив у мікротріщинах, підвищуючи проникність на 50–70% у неоднорідних водоносних горизонтах, і є адаптованим для свердловин діаметром 100–200 мм [4].

Інший тип пристроїв – імпульсні генератори, наприклад AirShock, які комбінують механічні та пневматичні ефекти. Генератор складається з поршневого механізму, що створює ударні хвилі через стиснене повітря або воду, з поступовим переміщенням вздовж екрана свердловини. Кожен метр обробки супроводжується серією імпульсів (частота 1–5 Гц, амплітуда до 500 атм), що призводить до відриву відкладів без механічного контакту. У гідрогеологічних умовах цей пристрій ефективний для карбонатних порід, де осади феригідроксидів домінують, відновлюючи дебіт на 40–60%. Порівняно зі струменевими системами, імпульсні генератори менш чутливі до глибини (до 300 м), але вимагають точного контролю тиску для уникнення ерозії обсадної колони [5].

У контексті української практики гідрогеологічні свердловини, особливо в артезіанських басейнах (наприклад, Дніпро-Донецький), часто обробляються комбінованими методами з використанням ПГДП-1 – пристрою для гідродинамічних досліджень пласта. Цей інструмент інтегрує насосну систему з манометрами для моніторингу тиску в реальному часі, дозволяючи оптимізувати цикли депресії-репресії. Дослідження показують, що після обробки проникність ПЗ зростає з 5–10 мД до 20–50 мД, що еквівалентно подовженню терміну експлуатації свердловини на 5–10 років. Однак виклики включають ризик колматування в глиноземних породах, де рекомендується попереднє хімічне промивання.

Ефективність гідродинамічних пристроїв залежить від параметрів пласта: пористості ($\phi > 15\%$), товщини водоносного горизонту (>10 м) та початкового забивання (шкірний фактор $s > 5$). Моделювання в програмних комплексах на основі рівняння Дарсі з урахуванням нелінійної фільтрації (Forchheimer) дозволяє прогнозувати приріст дебітів. У перспективі інтеграція з ультразвуковими елементами, як у комбінованих системах, може підвищити ефективність на 20–30% за рахунок синергетичного ефекту кавітації та механічного розмиву.

Гідродинамічна обробка ПЗ гідрогеологічних свердловин є стратегічним інструментом для сталого водокористування, поєднуючи простоту, економічність та мінімальний екологічний вплив. Подальші дослідження фокусуються на автоматизованих системах з датчиками IoT для реального часу корекції процесів, що обіцяє революцію в реабілітації свердловин у регіонах з дефіцитом прісної води.

Список використаних джерел:

1. Gass, T. E., Bennett, T. W., Miller, J., & Miller, R. (1981). Manual of water well maintenance and rehabilitation technology.
2. Mseli, Z. H., Goeller, D., Scharenberg, M., Mwegoha, W. J. S., Gianotti, R., Bongiorno, D., & Sawyer, A. H. (2019). Physical factors limiting access to clean groundwater in Tanzania villages. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 9(3), 531–539. <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.198>
3. Rybak, A. V., & Koroviaka, Ye. A. (2025). Обґрунтування використання ГО ПЗ гідрогеологічних свердловин [Justification of the use of hydrodynamic treatment of the near-wellbore zone of hydrogeological wells]. *Наукова весна [Naukova vesna]*. (in Ukrainian).
4. ПГДП-1. (2022). Пристрій для гідродинамічних досліджень пласта: Технічний паспорт. Київ: Державне підприємство «Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості».
5. Allen, C. W. (2009). Impulse generation for well capacity restoration. *Water and Wastewater International*, 24(3), 22–23.