

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Шумов Андрій Сергійович

УДК 622.233:551.49

ДИСЕРТАЦІЯ
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ
СВЕРДЛОВИН БЛОКОВИМИ ГРАВІЙНИМИ ФІЛЬТРАМИ
185 – Нафтогазова інженерія та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей,
результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.С. Шумов

Науковий керівник
доктор технічних наук, професор
Судаков Андрій Костянтинівич

АНОТАЦІЯ

Шумов А.С. Розробка технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання підвищення ефективності обладнання гідрогеологічних свердловин шляхом розробки нової технології застосування блокових гравійних фільтрів із використанням біополімерної в'язучої речовини на основі полілактиду (PLA). Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення стабільної роботи гідрогеологічних свердловин у складних гідрогеологічних умовах, зокрема у пухких та слабозцементованих породах, де спостерігаються процеси піскування, кольматування та зниження продуктивності свердловин.

У роботі зроблено комплексний аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин, встановлено їх основні переваги та недоліки, а також обґрунтовано доцільність застосування блокових гравійних фільтрів. Показано, що традиційні конструкції фільтрів, зокрема сітчасті та перфоровані, не забезпечують необхідного рівня фільтрації в умовах неоднорідних гранулометричних складів порід, що призводить до зниження експлуатаційної надійності свердловин.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні принципово нової технології формування блокових гравійних фільтрів, що базується на попередньому омонолічуванні гравійного матеріалу на денній поверхні з використанням в'язучої речовини (PLA) з подальшим його розмонолічуванням у свердловинних умовах під дією водного середовища.

У дисертації виконано обґрунтування складу біополімерного гравійного композиту та досліджено вплив масової концентрації PLA і гранулометричного

складу гравію на фізико-механічні та гідравлічні характеристики матеріалу. Проведені дослідження показали, що зі збільшенням вмісту PLA відбувається суттєве підвищення міцності композита, що забезпечує необхідну несучу здатність при транспортуванні блокового гравійного фільтра в свердловині. Водночас встановлено, що при збільшенні розміру зерен гравію міцність знижується, що пояснюється зменшенням площі контактів між частинками.

Особливу увагу приділено дослідженню процесу розмонолічування біополімерного гравійного композита у водному середовищі. Експериментально встановлено, що тривалість контакту з водою суттєво впливає на зниження міцності матеріалу, що є визначальним фактором при розрахунку допустимої глибини транспортування фільтра.

Виконано стендові дослідження процесу транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру свердловини. Встановлено закономірності впливу навантаження, швидкості транспортування та складу композита на граничну глибину спуску фільтра. Експериментально підтверджено, що руйнування фільтрувального елемента відбувається внаслідок комплексної дії гідродинамічних та механічних навантажень, а також руйнування структури у біополімерній матриці PLA.

На основі отриманих результатів розроблено математичну модель визначення допустимої глибини транспортування блокового гравійного фільтра, яка базується на поєднанні положень механіки рідини та механіки деформованого твердого тіла. Модель враховує зміну міцності композита в часі залежно від умов водонасичення, що дозволяє більш точно прогнозувати поведінку фільтра під час його спуску у свердловину.

У роботі наведено результати дослідно-промислового впровадження запропонованої технології в умовах реального бурового майданчика. Виробничі випробування проведено на базі підприємства ТОВ ПГГ «Дніпрогідробуд» (м. Вільногірськ), де виконано обладнання гідрогеологічної свердловини блоковими гравійними фільтрами. Встановлено, що запропонована технологія забезпечує стабільний дебіт свердловини, зменшення піскування та підвищення ефективності роботи водозабірної частини.

Техніко-економічний аналіз показав, що застосування блокових гравійних фільтрів дозволяє знизити експлуатаційні витрати за рахунок зменшення частоти ремонтних робіт, підвищення ресурсу насосного обладнання та стабілізації гідродинамічних параметрів свердловини. Отримані результати підтверджують економічну доцільність впровадження розробленої технології у практику буріння та експлуатації гідрогеологічних свердловин.

Практичне значення роботи полягає у створенні ефективної технології обладнання свердловин, яка може бути використана при будівництві гідрогеологічних, нафтових та газових свердловин у складних геолого-технічних умовах. Розроблені технічні рішення впроваджено у виробництво та підтверджено відповідними довідками й актами випробувань.

Ключові слова: гідрогеологічна свердловина, буріння, гравійний фільтр, фільтрація води, блоковий гравійний фільтр, біополімерний композит, фізико-механічні дослідження, біополімер, полілактид (PLA).

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації*Монографії*

1. Судаков А.К., Загриценко А.М., Мостинець О.Н., Подвігіна О.О., Шумов А.С. (2026). Гідрогеологічне та технологічне обґрунтування альтернативного водопостачання півдня України: монографія. – Київ: ТОВ «Наукове видавництво “Нова Думка”», 284 с.
<https://doi.org/10.64696/9786178816414>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у проведенні аналізу сучасних технологій альтернативного водопостачання півдня України, обробці та узагальненні результатів досліджень, підготовці аналітичних і графічних матеріалів монографії, а також у підготовці розділів, присвячених технологічним особливостям обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

2. Судаков, А.К., Гапіч, Г.В., Шумов, А.С., Голуб, Л.П. (2023). Огляд в'язучих речовин для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (26), 49–58.
<https://doi.org/10.33839/2708-731X-25-1-49-58>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у проведенні аналізу сучасних в'язучих речовин для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин, узагальненні літературних даних щодо фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалів.

3. Судаков, А.К., Шумов, А.С. (2024). Технології використання цукру та відходів цукрового виробництва для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 27(1), 105–112.
<https://doi.org/10.33839/2708-731X-27-1-105-112>

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу технологій використання цукру та відходів цукрового виробництва як в'язучих компонентів для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин, узагальненні експериментальних і літературних даних щодо властивостей таких матеріалів, оцінці перспектив їх застосування.

4. Судаков, А.К., Шумов, А.С. (2025). Інноваційне в'язуче блокових гравійних фільтрів глибоких експлуатаційних свердловин. Науковий вісник ДонНТУ, (1), 246–254. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2025-1-14-246-254>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у дослідженні інноваційних в'язучих речовин для блокових гравійних фільтрів глибоких експлуатаційних свердловин, аналізі фізико-механічних та технологічних властивостей біополімерних матеріалів, оцінці умов їх застосування у свердловинах різної глибини.

5. Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Davydenko, O., Shumov, A., & Voita, M. (2025). Computer modeling and analysis of filtration flows in heterogeneous porous media. *Geotechnical Mechanics*, 172, 65–75. <https://doi.org/10.15407/geotm2025.172.065>

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні чисельного моделювання та аналізі фільтраційних процесів у гетерогенних пористих середовищах.

6. Судаков, А.К., Дреус, А.Ю., Гапіч, Г.В., Шумов, А.С. (2025). Технологія обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами. Інструментальне матеріалознавство, (28), 28–39. <https://doi.org/10.33839/2708-731X-28-1-28-39>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у розробці технології обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами.

Статті в періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з відповідною до наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача

7. Sudakov, A., Pavlychenko, A., Napich, H., Isakova, M., Shumov, A. (2025). Water supply from groundwater: new solutions for a battered-and-bruised Ukraine. *Water Supply* 1 March 2025; 25 (3): 617–627. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2025.026>

Особистий внесок здобувача полягає в участі в аналізі сучасних технічних рішень і матеріалів для водопостачання з підземних джерел в умовах пошкодженої інфраструктури, узагальненні зарубіжного та вітчизняного досвіду відновлення систем підземного водопостачання, інтерпретації результатів досліджень, а також у підготовці окремих розділів статті та формуванні загальних висновків.

8. Sudakov A. K., Ratov B. T., Shumov A. S., Sarbopeyeva M. D. (2025). Study of the physical and mechanical properties of biopolymer gravel composite block filters hydrogeological wells. *Mineral resources of Ukraine*. Volume 4. pp. 48-53. <https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.48-53>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у проведенні експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композиту для блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин.

9. Sudakov, A., Sarbopeyeva, M., Isakova, M., Narbayev, M., Aliakbar, M., & Shumov, A. (2026). Results of research into the physical and mechanical properties of biopolymer gravel composite block filters for hydrogeological wells. *Advances in Science and Technology*, 172, 226–237. <https://doi.org/10.4028/p-8G1x4s>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у проведенні досліджень фізико-механічних властивостей біополімерних гравійних композитів, аналізі впливу масової концентрації PLA на міцнісні та фільтраційні характеристики матеріалу, а також у підготовці окремих розділів статті та формуванні висновків дослідження.

10. Sudakov A., Shumov A., Voita M., Hanzha Y., Dmytruk O. (2026). Modeling and Analysis of Hydrodynamics in Filtration Systems. *Advances in Science and Technology*. Vol. 172. pp. 215-225. <https://doi.org/10.4028/p-RzP6VN>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у розробці математичної моделі та аналізі гідродинамічних процесів у фільтраційних системах.

11. Sudakov, A., Yavorska, O., Isakova, M. & Shumov, A. (2026). Research of biopolymer gravel composite block filters for hydrogeological wells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1630(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1630/1/012056>

Особистий внесок здобувача полягає в участі у проведенні експериментальних досліджень фізико-механічних та фільтраційних властивостей біополімерних гравійних композитів для гідрологічних свердловин.

Патенти

12. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154867 Україна: Е21В 43/08. – № u202302211; заявл. 11.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1777394/>

13. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2024). Блоковий гравійний фільтр: пат. № 155090 Україна: МПК Е21В 43/08. – № u202302247; заявл. 12.05.2023; опубл. 17.01.2024, Бюл. № 3. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780432/>

14. Судаков, А.К., Шумов, А.С. (2024). Гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. № 156359 Україна: МПК Е21В 43/08. – № u202306074; заявл. 14.12.2023; опубл. 12.06.2024, Бюл. № 24. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1804797/>

15. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154865 Україна: Е21В 43/08. – № u202302200; заявл.

09.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. URL:
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1795113/>

16. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154866 Україна: Е21В 43/08. – № u202302225; заявл. 10.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. URL:
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1795112/>

17. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154868 Україна: Е21В 43/08. – № u202401784; заявл. 12.05.2023; опубл. 18.12.2024, Бюл. № 51/2024 URL:
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1833309/>

18. Судаков, А.К., Павличенко, А.В., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2025). Блоковий гравійний фільтр бурових свердловин: пат. 159896 Україна: Е21В 43/08. – № u202405947; заявл. 16.12.2024; опубл. 16.07.2025, Бюл. № 29/2025 URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1866402/>

19. Судаков, А.К., Павличенко, А.В., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2025). Спосіб виготовлення біополімерно-гравійного фільтра на фільтровій колоні: пат. 159897 Україна: Е21В 43/08. – № u202405949; заявл. 16.12.2024; опубл. 16.07.2025, Бюл. № 29/2025 URL:
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1866380/>

20. Ratov, B. T., Kuttybayev, A. Y., Togasheva, A. R., Sarboreyeva, M. D., Sudakov, A. K., Pavlichenko, A. V., & Shumov, A. S. (2025). Block gravel filter for well construction (Kazakhstan Patent No. 37234). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan).
<https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=391000>

21. Kuldeyev, Y. I., Ratov, B. T., Kuttybayev, A. Y., Muratova, S. K., Omirzakova, E. Z., Sudakov, A. K., Pavlichenko, A. V., Shumov, A. S., Sundetova, P. S., & Zhangirkhanova, A. A. (2025). Block gravel filter for well construction (Kazakhstan Patent No. 37252). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan). <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=391684>

22. Umirova, G. K., Ratov, B. T., Sudakov, A. K., Sudakova, D. A., Seidaliev, A. A., Pavlichenko, A. V., Shumov, A. S., Kuttybayev, A. Y., & Sarbopeeveva, M. D. (2026). Block gravel filter (Kazakhstan Patent No. 37900). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan).
<https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=416749>

Матеріали наукових конференцій

23. Судаков А.К., Шумов А.С. (2023). Результати хронометричних вимірювань процесу спорудження розвідувальної гідрогеологічної свердловини на ділянці Дніпровського району міста Вільногірськ. XIII Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, 1-3 березня 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – С. 13-14.

24. Судаков А.К., Шумов А.С., Передерій Н.О. (2023). Сучасні технології виробництва блокових гравійних фільтрів для гідрогеологічних свердловин. XVI Міжнародна науково-практична конференція Української школи гірничої інженерії «Комплексний видобуток мінеральної сировини при впровадженні інноваційних технології переробки відходів у контексті сталого розвитку та ESG- стратегії». Східниця, 2-7 жовтня 2023 року, С. 37-38.

25. Судаков А.К., Шумов А.С. (2024). Аналіз в'язучих речовин для виготовлення блокових гравійних фільтрів. XIV Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «НАУКОВА ВЕСНА». - Дніпро, 27-29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – С. 23–24.

26. Судаков А.К., Шумов А.С. (2024). Технологія обладнання гідрогеологічних свердловин екологічними блочними гравійними фільтрами. IX Міжнародна науково – практична конференція «НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ», Львів, 7-10 жовтня 2024 року / «Державна служба геології України», 2024. – С. 558-559.

27. Судаков А.К., Шумов А.С. (2024). Технологія обладнання гідрогеологічних свердловин блочними гравійними фільтрами. «Молодіжна

наука: інновації та глобальні виклики»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Полтава, 6 листопада 2024 року / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. С. 414-415.

28. Судаков А.К., Шумов А.С. (2024). Інноваційна технологія обладнання гідрогеологічних свердловин блочними гравійними фільтрами. XII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ», Дніпро, 13 – 15 листопада 2024 року, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – С. 76.

ABSTRACT

Shumov, A.S. Development of a technology for equipping hydrogeological wells with block gravel filters. – Qualifying scientific thesis in manuscript form.

Dissertation for obtaining the Doctor of Philosophy (PhD) degree in specialty 185 – Oil and Gas Engineering and Technologies, Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2026.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and applied problem of improving the efficiency of hydrogeological well completion through the development of a new technology for the application of block gravel filters using a polylactide (PLA)-based biopolymer binder. The relevance of the topic is обусловлена by the need to ensure stable operation of hydrogeological wells under complex hydrogeological conditions, particularly in loose and weakly cemented formations where sanding, clogging, and reduction in well productivity occur.

The work presents a comprehensive analysis of existing hydrogeological well filter designs, identifies their main advantages and disadvantages, and substantiates the feasibility of using block gravel filters. It is shown that traditional filter designs, particularly mesh and perforated filters, do not provide the required level of filtration under conditions of heterogeneous granulometric composition of formations, which leads to a decrease in the operational reliability of wells.

The scientific novelty of the work lies in the development of a fundamentally new technology for forming block gravel filters based on the preliminary monolithization of gravel material at the surface using a PLA binder, followed by its demonolithization under downhole conditions under the action of an aqueous environment.

The dissertation substantiates the composition of the biopolymer gravel composite and investigates the influence of PLA mass concentration and gravel granulometric composition on the physical-mechanical and hydraulic characteristics of the material. The conducted studies showed that an increase in PLA content significantly improves the strength of the composite, thereby ensuring the required load-bearing capacity during transportation of the block gravel filter in the well. At

the same time, it was established that an increase in gravel grain size leads to a decrease in strength due to the reduction in the contact area between particles.

Special attention is paid to the investigation of the demonolithization process of the biopolymer gravel composite in an aqueous environment. Experimental studies established that the duration of water contact significantly affects the reduction in material strength, which is a determining factor in calculating the permissible transportation depth of the filter.

Bench-scale studies of the transportation process of a biopolymer gravel filter element along the wellbore were carried out. The regularities of the influence of load, transportation velocity, and composite composition on the limiting filter descent depth were established. It was experimentally confirmed that the destruction of the filter element occurs due to the combined action of hydrodynamic and mechanical loads, as well as the degradation of the structure within the PLA biopolymer matrix.

Based on the obtained results, a mathematical model for determining the permissible transportation depth of a block gravel filter was developed. The model is based on the combination of fluid mechanics and solid mechanics principles. The model takes into account the time-dependent change in composite strength under water saturation conditions, which allows more accurate prediction of filter behavior during its descent into the well.

The dissertation presents the results of pilot-industrial implementation of the proposed technology under real drilling site conditions. Industrial tests were conducted at the enterprise LLC PGG “Dniprohydrobud” (Vilnohirsk), where a hydrogeological well was equipped with block gravel filters. It was established that the proposed technology ensures a stable well yield, reduces sanding, and improves the efficiency of the water intake section operation.

The technical and economic analysis demonstrated that the application of block gravel filters makes it possible to reduce operating costs by decreasing the frequency of repair works, increasing the service life of pumping equipment, and stabilizing the hydrodynamic parameters of the well. The obtained results confirm the economic feasibility of implementing the developed technology in the practice of drilling and operating hydrogeological wells.

The practical significance of the work lies in the creation of an effective well completion technology that can be applied in the construction of hydrogeological, oil, and gas wells under complex geological and technical conditions. The developed technical solutions have been implemented in production and confirmed by relevant certificates and test reports.

Keywords: hydrogeological well, drilling, gravel filter, water filtration, block gravel filter, biopolymer composite, physical and mechanical research, biopolymer, polylactide (PLA).

		15
ЗМІСТ		
	ВСТУП	17
Розділ 1	СВЕРДЛОВИННІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИДОБУВАЄМИХ ВОД. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
1.1	Аналіз гідрогеологічних умов водоносних систем України	25
1.2	Аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин	35
1.3	Постановка мети і завдань досліджень	54
	Висновки до 1 розділу	56
Розділ 2	ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН	57
2.1	Передумови обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами	57
2.2	Обґрунтування параметрів конструкції та біополімерної в'язучої речовини PLA блокового гравійного фільтра	62
2.3	Обґрунтування та вибір біополімерної в'язучої речовини PLA ..	68
2.4	Обґрунтування та вибір технологічної схеми доставки	82
	Висновки до 2 розділу	82
Розділ 3	ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА	85
3.1	Дослідження фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композита блокового гравійного фільтра	85
3.2	Дослідження гідравлічних властивостей біополімерного гравійного композита блокового гравійного фільтра	104
	Висновки до 3 розділу	112
Розділ 4	ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА ПО СТОВБУРУ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СВЕРДЛОВИНИ	114
4.1	Стендові дослідження технології транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини	114

		16
4.2	Моделювання процесу транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини	125
	Висновки до 4 розділу	143
Розділ 5	ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН БЛОКОВИМИ ГРАВІЙНИМИ ФІЛЬТРАМИ	145
5.1	Методика дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром	145
5.2	Результати дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами	153
	Висновки до 5 розділу	167
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	170
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	173
	ДОДАТОК А Відомості про впровадження результатів	190
	ДОДАТОК Б Акт виробничих випробувань технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром	192
	ДОДАТОК В Розрахунок економічної ефективності технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром	196
	ДОДАТОК Г Протокол №1 гідрогеологічного обстеження водозабору підземних вод	199
	ДОДАТОК Д Програма та методика експериментальних досліджень складу інверсно-гравійного композита	202
	ДОДАТОК Е Методика виготовлення інверсно-гравійного елемента інверсного гравійного фільтра блокового типу	203
	ДОДАТОК Є Протокол експериментальних досліджень складу інверсно-гравійного композита	204

ВСТУП

Актуальність теми. Підземні води мають вирішальне значення для забезпечення потреб населення, промисловості та сільського господарства. В умовах зростання антропогенного навантаження та дефіциту якісних поверхневих вод саме підземні водоносні горизонти залишаються одним із найбільш стабільних джерел водопостачання. Значна частина систем господарсько-питного та технічного водозабезпечення базується на експлуатації гідрогеологічних свердловин, особливо в районах, де використання поверхневих вод є обмеженим або економічно недоцільним.

Більшість гідрогеологічних свердловин споруджується у водоносних горизонтах, представлених пухкими пісками та слабозцементованими породами, що суттєво ускладнює забезпечення їх довготривалої та ефективної експлуатації. Основними проблемами таких свердловин є піскування, кольматація прифільтрової зони, зниження дебіту та передчасний вихід з ладу фільтрувальних систем. У зв'язку з цим особливого значення набуває розробка нових конструкцій фільтрів і технологій обладнання водоприймальної частини свердловин, здатних забезпечити стабільну роботу в складних гірничо-геологічних умовах.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності спорудження та експлуатації гідрогеологічних свердловин є використання блокових гравійних фільтрів, які дозволяють формувати високопроникну та стійку до руйнування фільтраційну зону. Застосування біополімерних в'язучих речовин для омонолічування блокового гравійного фільтра створює можливість транспортування блокових гравійних елементів по стовбуру свердловини з подальшим їх контрольованим розмонолічуванням у водоприймальній зоні. Такий підхід сприяє підвищенню питомого дебіту свердловин, зменшенню інтенсивності піскування та збільшенню міжремонтного періоду експлуатації.

Ця проблема є актуальною як в Україні, так і в усьому світі. Понад 60 % гідрогеологічних свердловин споруджується у водоносних горизонтах, представлених пухкими відкладами.

Вирішенню цього великого й актуального наукового завдання, що полягає в розробці технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами у дрібнозернистих і середньозернистих пісках і має важливе практичне значення, присвячена дана дисертаційна робота.

Зв'язок дисертації роботи з науковими тематиками

Дисертаційна робота виконана спільно з темою ГП-518 «Гідрогеологічне та технологічне обґрунтування альтернативного водопостачання населення України у період воєнного стану та повоєнного відновлення» (№ державної реєстрації 0123U101745), за якою автор дисертації працював науковим співробітником і провадив патентні дослідження конструктивних систем свердловинного очищення.

Метою роботи є розробка технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами з попереднім омонолічуванням гравійного матеріалу на денній поверхні у блоки за рахунок використання в'язучої речовини полілактид (PLA), з наступним розмонолічуванням у привибійній зоні свердловини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання досліджень:

1. Розробити й обґрунтувати технологію обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.
2. Обґрунтувати та вибрати рецептуру біополімерної в'язучої речовини PLA гравійного композита для виготовлення блокового гравійного фільтра.
3. Дослідити вплив рецептури біополімерної в'язучої речовини PLA на фізико-механічні та гідравлічні властивості матеріалу блокового гравійного фільтра.
4. Розробити й обґрунтувати технологію виготовлення блокового гравійного фільтра.
5. Провести стендові дослідження технології транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини.

6. Провести дослідно-промислове впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

7. Визначити економічну ефективність виконаних робіт з обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Ідея роботи – використання ефекту інверсного трифазного переходу агрегатного стану в'язучої речовини гравійного матеріалу блокового фільтра під дією плюсових температур оточуючого середовища.

Об'єкт дослідження – процеси виготовлення блокових гравійних фільтрів на основі біополімерної в'язучої речовини PLA і транспортування їх по стовбуру гідрогеологічної свердловини.

Предмет дослідження – параметри технологічних процесів виготовлення блокових гравійних фільтрів на основі біополімерної в'язучої речовини PLA і транспортування їх по стовбуру гідрогеологічної свердловини.

Методи дослідження. Для досліджень речовинного складу блокових гравійних фільтрів на основі біополімерної в'язучої речовини PLA застосовувалися методи: аналізу й узагальнення науково-технічних досягнень в різних областях промисловості; математичного та фізичного моделювання, числові методи рішення.

Експерименти досліджень виконано з використанням положень загальної теорії наукового експерименту і теорії випадкових процесів.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукові положення, що висуваються на захист:

1. Синергетичний ефект фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композита блокового фільтра визначається сумісним впливом масової концентрації полілактиду та гранулометричного складу гравію, при цьому збільшення масової концентрації полілактиду – від 4 % до 16 % та застосування гранулометричного складу гравію – від 0,5 мм до 0,75 мм забезпечує підвищення межі міцності на одноосьове стиснення композита – від 13,6 МПа до 65,95 МПа, зменшення його пористості – від 28,3 % до 3,6 %, проникності – від 1907 мД до 1,9 мД, коефіцієнта фільтрації – від 35,1 м/добу до 0,1 м/добу під впливом підземних вод з температурою +20°C, що сприятиме

запобіганню кольматації фільтра при транспортуванні по стовбуру свердловини.

2. Підвищення ефективності експлуатаційних характеристик гідрогеологічних свердловин, продуктивна частина яких представлена слабозцементованими тонкозернистими пісками, досягається застосуванням блокових гравійних фільтрів, які на денній поверхні омонолічуються утворюючи непроникний композиційний матеріал на основі біополімерної в'язучої речовини - полілактиду, з подальшим розмонолічуванням композита блокових фільтрів під впливом термобаричної дії підземних вод продуктивного горизонту.

Наукова новизна

Вперше:

– обґрунтовано застосування для омонолічування рихлого гравійного матеріалу в блокову конструкцію гравійного фільтра гідрогеологічної свердловини в'язучої речовини на основі полілактиду;

– запропоновано технологію обладнання гідрогеологічних свердловин, блоковими гравійними фільтрами з використанням біополімерної в'язучої речовини на основі полілактиду;

– встановлено залежність фізико-механічних властивостей композита блокового гравійного фільтра від концентрації полілактиду та гранулометричного складу гравію;

– встановлено залежність глибини транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини від масової концентрації в'язучої речовини, що дозволило обґрунтувати раціональну область використання запропонованої технології.

Вдосконалено:

– конструкцію блокового гравійного фільтра й обґрунтовано технологію його виготовлення.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробленні науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору параметрів технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами;
- впровадженні науково-технічних рішень, новизна яких підтверджена патентами (№№ 154865UA, 154866UA, 154867UA, 155090UA, 156359UA, 154868UA, 159896UA, 159897UA, 37234KZ, 37252KZ, 37900KZ);
- використанні результатів досліджень у навчальному процесі при підготовці фахівців за напрямками гірництва та нафтогазових технологій.

Апробація дисертаційної роботи. Матеріали дисертації оприлюднено у виступах шести конференцій: XIII Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, 1-3 березня 2023 року; XVI Міжнародна науково-практична конференція Української школи гірничої інженерії «Комплексний видобуток мінеральної сировини при впровадженні інноваційних технологій переробки відходів у контексті сталого розвитку та ESG- стратегії». Східниця, 2-7 жовтня 2023 року; XIV Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «НАУКОВА ВЕСНА». - Дніпро, 27-29 березня 2024 року; IX Міжнародна науково – практична конференція «НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ», Львів, 7-10 жовтня 2024 року; «Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Полтава, 6 листопада 2024 року; XII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ», Дніпро, 13 – 15 листопада 2024 року.

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи автора відображено у 28 наукових працях, зокрема: 1 монографії; 5 статтях у фахових виданнях України; 5 статтях у виданнях, що індексуються у базах даних Scopus та Web of Science; 11 патентах; 6 тезах доповідей міжнародних конференцій.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

підтверджується значним обсягом лабораторних, стендових та дослідно-промислових досліджень, сучасною методичною базою, використанням теоретично обґрунтованих і перевірених методів досліджень, достатньою обґрунтованістю наукових положень і висновків, збіжністю результатів математичного моделювання з даними стендових випробувань, а також успішним впровадженням результатів досліджень у виробництво під час дослідно-промислового застосування технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Особистий внесок здобувача полягає у: визначенні наукового завдання; розробленні наукових положень і обґрунтуванні наукової новизни роботи; виборі методів теоретичних та експериментальних досліджень; вдосконаленні експериментального стенда для вирішення модельних завдань. Розроблено критерії та виконано вибір в'язучої речовини блокового гравійного фільтра. Автором виконано аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин. Обґрунтовано доцільність застосування біополімерного гравійного композита. Вдосконалено конструкцію блокового гравійного фільтра й обґрунтовано технологію його виготовлення. Проведено лабораторні дослідження фізико-механічних і гідравлічних властивостей біополімерного гравійного композита при різній концентрації PLA. Проведено стендові дослідження процесу транспортування блокового гравійного елемента по стовбуру свердловини. Здобувачем розроблено математичну модель визначення максимальної глибини транспортування блокового гравійного елемента з урахуванням осьового навантаження, гідродинамічної дії та зміни міцності композита у водному середовищі. На основі отриманих результатів обґрунтовано область раціонального застосування блокового гравійного фільтра залежно від складу композита й умов експлуатації свердловин.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, основних висновків і рекомендацій, викладених на 204 сторінках друкованого тексту в редакторі MS Word, містить 58 рисунків, 24 таблиць, список використаних джерел із 141 найменувань і 7 додатків.

Дослідження, проведені за дисертацією, є результатом теоретичних, експериментальних науково-дослідних робіт, проведених на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Зміст дисертаційної роботи

У 1 розділі наведено аналіз гідрогеологічних умов формування та поширення підземних вод на території України, а також зроблено аналіз відомих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин. Розглянуто їх конструктивні особливості, принцип дії та область застосування. На основі проведеного аналізу сформульовано мету і завдання дослідження. У 2 розділі обґрунтовано передумови застосування блокових гравійних фільтрів для обладнання гідрогеологічних свердловин, розглянуто геологічні, технологічні і економічні аспекти їх використання. Проведено аналіз в'язучих матеріалів, досліджено їх фізико-хімічні та експлуатаційні властивості, а також обґрунтовано вибір біополімерної в'язучої речовини на основі полілактиду (PLA). Запропоновано раціональні параметри конструкції фільтра та технологічну схему його виготовлення, транспортування і монтажу. У 3 розділі представлено результати лабораторних досліджень біополімерного гравійного композиту, призначеного для виготовлення блокових гравійних елементів фільтра. Визначено фізико-механічні та гідравлічні властивості композита, встановлено вплив масової концентрації PLA та гранулометричного складу гравію на міцність, пористість і фільтраційні характеристики матеріалу. Досліджено процес деструкції композита у водному середовищі та встановлено закономірності зміни його властивостей у часі. У 4 розділі виконано дослідження технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини. Проведено стендові випробування, встановлено вплив навантаження, швидкості транспортування та вмісту PLA на максимальну глибину спуску фільтра. Розроблено математичну модель визначення допустимої глибини транспортування біополімерного гравійного елемента, яка враховує гідродинамічні умови, механічні властивості композита та часову гідролітичну деструкцію матеріалу. Обґрунтовано область

застосування блокових гравійних фільтрів залежно від умов експлуатації. У 5 розділі наведено результати дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами. Описано методику та умови проведення виробничих випробувань, проаналізовано геолого-технічні умови та конструкцію свердловини. Зроблено оцінку техніко-економічної ефективності запропонованої технології, визначено витрати на її реалізацію та підтверджено доцільність її практичного застосування.

Розділ 1 СВЕРДЛОВИННІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВИДОБУВАЄМИХ ВОД. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз гідрогеологічних умов водоносних систем України

Аналіз гідрогеологічних умов території України показує значну різноманітність геологічних структур, у межах яких формуються та акумулюються підземні води, але традиційний підхід до їх оцінки за басейновим або адміністративно-територіальним принципом не забезпечує повного відображення особливостей формування та поширення водоносних горизонтів, які можуть використовуватись для питного водопостачання. Більш доцільним є використання поняття водоносної системи як узагальнюючої одиниці гідрогеологічного районування. Такий підхід дозволяє враховувати не лише просторове поширення підземних вод, а й особливості геологічної будови, стратиграфії, гідродинамічних умов та взаємозв'язків між окремими водоносними горизонтами.

З позицій оцінки продуктивних водоносних горизонтів для питного водопостачання саме розгляд у межах водоносних систем є більш обґрунтованим, оскільки він дозволяє виділяти регіони зі спільними закономірностями формування ресурсів підземних вод, а також якісними характеристиками вод.

У межах України виділено десять водоносних систем першого порядку, серед яких: Закарпатська, Карпатська, Передкарпатська, Волино-Подільська, Дніпровсько-Донецька, Донбаська, Причорноморська, Північнодобрудзька, водоносна система Українського щита та водоносна система Гірського Криму [1] – [12]. Кожна з них характеризується специфічними умовами формування продуктивних водоносних горизонтів, що визначає їхню роль у системі питного водопостачання.

Волино-Подільська водоносна система одна з найбільш важливих у забезпеченні населення підземними водами на заході України - являє собою складну багатоповерхову систему водоносних горизонтів, кількість яких

зростає у західному та південно-західному напрямках. Характерною особливістю цієї території є відсутність чітко витриманих водотривких прошарків, що розділяють водоносні горизонти, внаслідок цього спостерігається тісний зв'язок між водоносними комплексами. Гідрогеологічний розріз системи характеризується переважанням тріщинно-порових колекторів, що обумовлює складну фільтраційну неоднорідність, але водночас забезпечує формування значних ресурсів підземних вод. Тут поширені водоносні горизонти в четвертинних, міоценових, верхньокрейдових відкладах, а також у зоні інтенсивної тріщинуватості домезозойських порід (карбону, девону, силуру, кембрію, венду, рифею). З точки зору питного водопостачання найбільше значення мають такі горизонти: горизонт тріщинуватості мергельно-крейдяних порід сенон-турону широко використовується для водопостачання таких міст як Луцьк, Ковель, Тернопіль, Львів. Найбільш водоносні ділянки приурочені до долин річок, де тріщинуватість розвинена до глибини 80 м. Також неогенові (міоценові) піщано-карбонатні відклади, що залягають переважно на вододілах Подільської височини, характеризуються високою водоносністю та тривалий час забезпечували водопостачання великих міст, зокрема Львова. Сеноманські горизонти верхньої крейди є важливим джерелом водопостачання у східній частині системи (Хмельницький). Тріщинуваті та карстові води девонських і силурійських відкладів використовуються для водопостачання окремих регіонів і характеризуються значною локальною водоносністю (особливо на глибинах 100 – 200 м). Води зони тріщинуватості докембрійських порід, які поширені на північному та східному схилах Українського щита (глибини 10 – 70 м), забезпечують водопостачання міст Рівне, Вараш та інших.

Водоносна система Українського щита приурочена до великого підняття докембрійського кристалічного фундаменту та характеризується складною гідрогеологічною будовою, де виділяються два структурні поверхи: нижній, сформований архейсько-протерозойськими магматичними і метаморфічними породами (граніти, гнейси, мігматити), та верхній, представлений мезо-кайнозойськими осадовими відкладами. З позицій питного водопостачання

визначальне значення мають підземні води нижнього структурного поверху, пов'язані зоною тріщинуватості кристалічних порід. Водоносність цих порід обумовлена розвитком тріщинуватості, приурочена до верхньої частини фундаменту та кори вивітрювання і зазвичай залягає на глибинах 10 – 70 м, рідше до 100 – 150 м. Потужність зони інтенсивної тріщинуватості становить до 20 м на вододілах і до 50 м у долинах річок, інколи досягаючи 80 – 100 м від поверхні.

Найбільш продуктивні водоносні ділянки пов'язані з пониженими формами рельєфу, а саме долинами річок, балками та зонами тектонічних порушень, де тріщинуватість розвинена глибше і має кращу гідравлічну провідність, саме в цих інтервалах (переважно 20 – 80 м) відбувається буріння водозабірних свердловин. У більш глибоких частинах кристалічного фундаменту (понад 150 – 200 м) водоносність різко знижується через зменшення тріщинуватості.

Підземні води кристалічних порід широко застосовуються для господарсько-питного водопостачання населених пунктів, зокрема міст Бердичів, Умань, Хмільник, Тальне та інших, однак їх дебїти є відносно невисокими і сильно варіюють залежно від локальних умов.

Верхній структурний поверх представлений водоносними горизонтами в четвертинних і мезо-кайнозойських відкладах, що характеризуються невитриманістю поширення та потужності. Водоносні горизонти четвертинних відкладів зазвичай залягають на глибинах 5 – 30 м, інколи до 40 – 50 м, пов'язані з піщаними та супіщаними відкладами і є найбільш доступними для локального водопостачання, особливо в межах долин річок. Водоносні горизонти мезо-кайнозойських відкладів (піски, пісковики, вапняки) мають більшу глибину залягання, переважно 30 – 100 м, рідше до 150 м, але через обмежене поширення та невисоку потужність використовуються менше.

Загалом водоносна система Українського щита характеризується домінуванням тріщинних вод кристалічного фундаменту з глибинами експлуатації переважно 20 – 100 м, локальним характером водоносності та значною залежністю від геоморфологічних і тектонічних умов. Це визначає її

важливу роль у забезпеченні питного водопостачання, особливо у регіонах, де відсутні потужні артезіанські басейни.

Дніпровсько-Донецька водоносна система (у більшості джерел – артезіанський басейн) є класичним артезіанським басейном платформного типу, приуроченим до Дніпровсько-Донецької западини. Підземні води переважно приурочені до порових колекторів, які відзначаються відносно однорідними фільтраційними властивостями та значною водоносністю. Основні ресурси питних підземних вод формуються в межах декількох водоносних комплексів, що відрізняються умовами залягання, глибиною та експлуатаційним значенням. Найбільш доступним є олігоцен-четвертинний водоносний комплекс, який поширений майже повсюдно та залягає переважно на невеликих глибинах 5 – 30 м (інколи до 50 м) у піщаних алювіальних, флювіогляціальних і делювіальних відкладах і характеризується сприятливими умовами живлення, однак використовується переважно для локального водопостачання через підвищену вразливість до забруднення.

Глибше залягають еоценові водоносні горизонти (30 – 100 м), які поширені на значній частині території та перекриті слабопроникними товщами, що забезпечує їх кращу захищеність. У північно-східній частині системи важливу роль відіграють водоносні горизонти верхньокрейдових відкладів (сенон-турон), які залягають на глибинах близько 20 – 80 м і характеризуються активним водообміном, зумовленим зв'язком із річковою мережею.

Одним із ключових для централізованого водопостачання є сеноман-нижньокрейдовий водоносний горизонт, глибина якого змінюється від 20 – 40 м у крайових частинах до 800 – 900 м у центральній частині западини. Саме цей горизонт широко використовується для водопостачання великих міст (Харків, Полтава, Суми та ін.), однак на його якість може впливати соляна тектоніка, особливо в центральних частинах басейну. У північно-західній частині значне експлуатаційне значення мають сеноман-келовейські та байоські водоносні горизонти, які залягають на глибинах 100 – 300 м і характеризуються достатньою водоносністю й якістю води, що обумовлює їх широке використання, зокрема для водопостачання частини м. Києва.

Більш глибокі водоносні комплекси юрських і тріасових відкладів (200 – 1000 м) мають значні ресурси, проте їх використання обмежене через значну глибину залягання та можливе підвищення мінералізації вод.

Особливістю Дніпровсько-Донецької водоносної системи є активний водообмін підземних та поверхневих вод, особливо в східній частині, де водоносні горизонти верхньої крейди виходять на денну поверхню або перекриваються алювіальними відкладами. Загалом усі водоносні горизонти зони активного водообміну тією чи іншою мірою залучені до систем централізованого та децентралізованого питного водопостачання. Завдяки значній потужності водоносних товщ, їх протяжності та фільтраційним характеристикам Дніпровсько-Донецька водоносна система є однією з ключових об'єктів джерел питного водопостачання України.

Донбаська водоносна система розташована на південному сході України та приурочена до Донецької складчастої споруди (синклінорію) герцинського віку. У гідрогеологічному відношенні вона характеризується складною будовою, зумовленою поєднанням синклінальних і антиклінальних структур, а також розломів різного порядку, які контролюють поширення та умови залягання водоносних горизонтів, а також техногенною порушеністю. Унаслідок цього природні ресурси підземних вод Донбасу є обмеженими і не здатні повністю забезпечити потреби регіону у питній воді, тому водопостачання значної частини території здійснювалось за рахунок поверхневих вод, зокрема шляхом їх перекидання каналом Дніпро-Донбас. Наявні ресурси питних підземних вод цієї системи пов'язані переважно з четвертинними, неогеновими, палеогеновими, крейдовими, тріасовими та кам'яновугільними відкладами. Найбільш важливими з точки зору водопостачання можуть розглядатись водоносні горизонти крейдових, тріасових і кам'яновугільних відкладів.

У центральній частині Донбасу до зони інтенсивного водообміну приурочені підземні води питної якості, пов'язані зі складнодислокованими породами карбону та тріасу, глибина їх залягання зазвичай становить 50 – 300 м, інколи більше. На периферійних ділянках системи якість вод

погіршується, оскільки у зоні активного водообміну тут переважають водоносні горизонти палеогенових і неогенових відкладів, які перекривають більш давні породи і часто фіксуються води підвищеної мінералізації.

Четвертинні водоносні горизонти, приурочені до алювіальних відкладів річкових долин, залягають на невеликих глибинах 5 – 20 м і можуть використовуватися для локального водопостачання, однак вони є обмеженими за запасами та вразливими до забруднення.

Загалом Донбаська водоносна система характеризується складними умовами формування підземних вод, їх просторовою неоднорідністю та суттєвим техногенним впливом, що обумовлює необхідність комплексного підходу до оцінки ресурсів підземних вод та їх раціонального використання, особливо в умовах інтенсивного промислового освоєння території та військових дій.

Причорноморська водоносна система має складні гідрогеологічні умови та характеризується значною фаціальною і літологічною мінливістю порід, невитриманістю водоносних і водотривких горизонтів, а також різкою строкатістю якісного складу підземних вод. Потужність зони активного водообміну змінюється в межах 50 – 400 м, однак найчастіше не перевищує 100 – 200 м, що суттєво обмежує глибину поширення прісних підземних вод.

Підземні води приурочені до четвертинних, неогенових, палеогенових і крейдових відкладів, основне значення для водопостачання мають водоносні горизонти неогенового віку. Для цієї системи характерний широкий розвиток солонуватих і солоних вод, що значно ускладнює їх використання для питних потреб і обмежує придатні до експлуатації горизонти. Найбільш доступними є безнапірні води четвертинних відкладів, які залягають на глибинах 5 – 20 м і пов'язані з алювіальними піщаними відкладами, а також еоловими та делювіальними утвореннями, і відіграють важливу роль у локальному водопостачанні сільських населених пунктів, однак якість є нестабільною (варіює від прісної до солонуватої).

Найбільш значущими для централізованого і децентралізованого водопостачання є водоносні горизонти неогенових відкладів (сарматський,

меотичний, понтичний яруси), які залягають на глибинах від 10 – 20 м до 100 – 125 м. Водовмісні породи представлені вапняками, пісками та пісковиками з прошарками глин, їх потужність змінюється від 10 м до 40 м, а напір у горизонтах досягає може сягати 120 м, але якість води також нестабільна.

Водоносні горизонти палеогенових і крейдових відкладів мають локальне поширення, залягають на глибинах переважно 100 - 300 м і більше, однак через недостатню вивченість та складні гідрогеохімічні умови поки що не знайшли широкого застосування у водопостачанні.

Особливістю Причорноморської водоносної системи є значна мінливість мінералізації підземних вод як за площею, так і за глибиною, обмеженість ресурсів прісних підземних вод і значна залежність їх якості від геологічної будови та сучасних гідрогеологічних процесів.

Добрудзька водоносна система розташована в крайній південно-західній частині України (Одеська область) та приурочена до Нижньопрутського виступу Північної Добруджі, характеризується відносно обмеженим розвитком водоносних горизонтів і локальним характером ресурсів підземних вод, а основне значення для господарсько-питного водопостачання мають водоносні горизонти, приурочені до пліоцен-четвертинних алювіальних, лиманно-морських і морських відкладів дельти Дунаю. Підземні води цих горизонтів залягають, як правило, на глибинах до 60 м, є безнапірними або слабонапірними та використовуються для водопостачання населених пунктів дельтової зони Дунаю, де відсутні інші надійні джерела прісної води.

Загалом Добрудзька водоносна система відіграє локальну, але важливу роль у забезпеченні водопостачання південно-західних територій Одеської області. Її особливості визначаються переважанням неглибоких алювіальних водоносних горизонтів, обмеженістю запасів прісних вод та залежністю їх якості від природних і техногенних чинників.

Водоносна система Гірського Криму характеризується переважанням карстово-тріщинних вод верхньоюрських карбонатних порід. Основні водоносні горизонти залягають на глибинах від 50 м до 200 м, локально глибше, і пов'язані зонами тріщинуватості та карсту. Можуть забезпечувати

водою окремі населені пункти гірської частини Криму, при цьому води переважно мають добру якість, але ресурси є обмеженими та нерівномірно розподіленими.

У межах Керченського занурення поширена потужна глиниста товща, практично позбавлена прісних підземних вод, а окремі горизонти містять високомінералізовані води, непридатні для питного використання.

Цікаво, що у *степовій (рівнинній) частині Криму* гідрогеологічні умови значно складніші, основні водоносні горизонти пов'язані з неогеновими та четвертинними відкладами і залягають на глибинах від 10 м до 100 м, однак їх водоносність обмежена, а якість часто незадовільна через підвищену мінералізацію та засолення. Прісні води мають локальне поширення і не забезпечують повною мірою потреб регіону, що обумовлює залежність водопостачання від зовнішніх джерел.

Окремим блоком необхідно розглянути Передкарпатську, Карпатську та Закарпатську водоносні системи.

Закарпатська водоносна система має складні гідрогеологічні умови через невитриманість водоносних горизонтів і нерівномірне обводнення порід. Основні ресурси питних підземних вод пов'язані з алювіальними четвертинними відкладами, що залягають на глибинах від перших метрів до 40 - 50 м, а також з пліоценовими осадовими та вулканогенними утвореннями, які можуть залягати на глибинах від 30 м до 100 м. Саме ці горизонти широко використовуються для централізованого та локального водопостачання населених пунктів Закарпаття. Води характеризуються переважно доброю якістю, їх мінералізація, як правило, не перевищує $1,0 \text{ г/дм}^3$, що відповідає вимогам питного водопостачання та забезпечує їх активне використання. Загалом Закарпатська водоносна система є однією з найбільш сприятливих в Україні за умовами формування та використання підземних вод.

Карпатська водоносна система також має складні гідрогеологічні умови через інтенсивну тектонічну порушеність порід та їх низькі фільтраційні властивості. Підземні води пов'язані переважно з верхньою зоною тріщинуватості корінних порід, яка розвинута на глибину до 200 м,

водоносність цих порід є нерівномірною і загалом невисокою, що обумовлює обмежені дебіти свердловин і не дозволяє забезпечити потреби централізованого водопостачання навіть для невеликих населених пунктів. Попри значну кількість атмосферних опадів, характерних для Карпатського регіону, підземні води формуються переважно у вигляді слабообводнених тріщинних зон. Внаслідок цього їх ресурси є обмеженими та непостійними. Найбільш перспективними для водопостачання є водоносні горизонти, пов'язані з алювіальними гравійно-гальковими відкладами річкових долин, які залягають на глибині до 15 м, інколи до 30 м, однак їх експлуатація ускладнюється активною динамікою руслових процесів і частими паводками, що характерні для Карпат, через що створення стабільно працюючих водозаборів є проблематичним. Якість підземних вод у межах Карпатської водоносної системи переважно відповідає вимогам питного водопостачання, але у південно-західній частині, в зонах глибинних розломів, спостерігається збагачення вод вуглекислотою, а також локальне підвищення мінералізації.

Передкарпатська водоносна система характеризується складними гідрогеологічними умовами, зумовленими переважанням слабопроникних глинистих порід з окремими піщаними і пісковиковими прошарками, а водоносні горизонти, пов'язані з ними, залягають на глибинах від 50 м до 150 м і більше, однак їх водоносність є низькою, а води часто мають підвищену мінералізацію, що обмежує їх використання для господарсько-питного водопостачання. У межах розвитку соленосних товщ підземні води формуються в зоні вилуговування, де поширені високомінералізовані розсоли хлоридного та сульфатно-хлоридного складу, які використовуються переважно в бальнеологічних цілях, зокрема на курортах Моршин і Трускавець, і не придатні для питного водопостачання.

Єдиними надійними джерелами прісних підземних вод у межах Передкарпатської водоносної системи є водоносні горизонти, приурочені до алювіальних пліоцен-четвертинних відкладів, які залягають на невеликих глибинах – до 20 – 30 м і використовуються для водопостачання таких міст як Львів, Івано-Франківськ, Калуш та ін. Загалом Передкарпатська водоносна

система характеризується обмеженими ресурсами прісних підземних вод, значною поширеністю мінералізованих вод у корінних відкладах і залежністю водопостачання від неглибоких алювіальних горизонтів, що потребує їх раціонального використання та ретельного захисту від забруднення.

Аналіз гідрогеологічних умов водоносних систем України свідчить, що глибина встановлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин визначається типом водоносних порід, умовами їх залягання, ступенем захищеності та якістю підземних вод, і можна виділити декілька характерних інтервалів експлуатації для різних гідрогеологічних структур.

У межах платформних артезіанських басейнів (Дніпровсько-Донецька водоносна система) фільтри встановлюють в широкому діапазоні глибин – від 20 – 40 м у верхніх горизонтах до 100 – 300 м – у більш глибоких напірних водоносних комплексах, а для глибоких горизонтів (наприклад, сеноман-нижньокрейдових) – до 300 – 900 м у центральних частинах басейну. Найбільш стабільними для централізованого водопостачання є інтервали 70 – 300 м, де забезпечується оптимальне співвідношення якості води та величини дебітів.

У межах Волино-Подільської водоносної системи фільтри найчастіше встановлюють в інтервалах від 20 м до 80 м (мергельно-крейдяні горизонти) та можливі до 200 м (тріщинуваті карбонатні та палеозойські відклади), при цьому для карстово-тріщинних колекторів можливе локальне заглиблення до 200 – 300 м.

Для Українського щита характерним є встановлення фільтрів у зоні тріщинуватості кристалічних порід на глибинах від 20 м до 70 м, рідше до 100 – 150 м, причому найбільш продуктивні інтервали відносяться до зон розломів і долин річок.

У Карпатській та Передкарпатській водоносних системах через низьку водоносність корінних порід фільтри переважно встановлюються у неглибоких алювіальних відкладах на глибинах до 20 – 30 м. У корінних породах можливе буріння до 50 – 150 м, однак такі свердловини зазвичай мають низькі дебіти й обмежене використання.

У межах Донбаської водоносної системи глибини встановлення фільтрів варіюють від 50 м до 300 м у карбонових і тріасових відкладах, тоді як верхні горизонти використовуються обмежено через низьку якість води. Вибір інтервалів також значною мірою залежить від впливу гірничих виробок і техногенного дренажу.

Для Причорноморської водоносної системи характерні відносно невеликі глибини експлуатації, фільтри встановлюють переважно в інтервалах від 20 м до 80 м у неогенових відкладах. Глибші горизонти використовуються обмежено через підвищену мінералізацію вод.

У межах Добрудзької водоносної системи фільтри розміщують переважно в неглибоких алювіальних відкладах на глибинах від 5 м до 40 м (за винятком – до 60 м), що пов'язано з обмеженою потужністю водоносних товщ.

Таким чином, можна виділити три основні інтервали встановлення фільтрів: від 5 м до 30 м – верхні алювіальні та четвертинні горизонти (локальне водопостачання); від 20 м до 100 м – основна зона експлуатації для більшості водоносних систем України; від 100 м до 300 м і більше – глибокі захищені горизонти в артезіанських басейнах, що можуть використовуватись для централізованого водопостачання.

Отримані узагальнення дозволяють обґрунтувати вибір глибини буріння та інтервалів встановлення фільтрів при проектуванні гідрогеологічних свердловин з урахуванням гідрогеологічної будови території.

1.2 Аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин

Підбір фільтрів для експлуатації водоносних горизонтів, складених дрібно- та середньозернистими пісками, характеризується низкою специфічних особливостей, що мають бути враховані на етапі проектування гідрогеологічних свердловин. У проєкті буріння обов'язково повинна бути передбачена така конструкція фільтра, яка забезпечує необхідний дебіт

свердловини відповідно до технічного завдання, а також стабільну та довготривалу роботу водозабірної частини.

Аналіз існуючих конструкцій свердловинних фільтрів, що застосовуються як в Україні, так і за кордоном, свідчить про необхідність їх відповідності комплексу ключових вимог. Зокрема, фільтр має бути достатньо міцним і стійким до механічного руйнування в процесі спуску та експлуатації, забезпечувати необхідну пропускну здатність водоносного горизонту, характеризуватися мінімальним гідравлічним опором та бути стійким до корозійних процесів у різних гідрохімічних умовах [13] – [28].

Фільтри відіграють визначальну роль у конструкції свердловини, оскільки саме вони значною мірою впливають на ефективність бурових робіт, стабільність експлуатації та достовірність результатів гідрогеологічних досліджень під час розвідки й оцінки запасів підземних вод. З розвитком водозабірної будівництва, зокрема в умовах України, де актуальним є забезпечення населення та промисловості якісною підземною водою, спостерігається стале зростання обсягів застосування різних типів фільтрів.

Вибір типу та конструкції фільтра визначається передусім геолого-гідрогеологічними умовами, а саме гранулометричним складом водоносних порід. Важливими факторами також є проєктний дебіт свердловини, глибина її спорудження, а також хімічний склад підземних вод, який може впливати на довговічність матеріалів. Конструкція фільтра повинна бути технологічною у виготовленні, економічно доцільною та придатною до використання в широкому спектрі умов, характерних для території України. Крім того, важливим є зменшення витрат дефіцитних матеріалів без погіршення експлуатаційних характеристик [29] – [32].

Еволюція конструкцій свердловинних фільтрів пов'язана з прагненням одночасно задовольнити вимоги міцності, ефективності фільтрації та економічності, що зумовило формування широкого спектра технічних рішень. За конструктивними ознаками свердловинні фільтри доцільно класифікувати на кілька основних груп: щілинні та перфоровані фільтри, виконані з труб; фільтри з листових матеріалів і стрижневих елементів; конструкції з

корозійностійких матеріалів; сітчасті фільтри; гравійні та гравітаційні фільтри. Кожен із зазначених типів має власну область ефективного застосування, що визначається умовами роботи свердловини та характеристиками водоносного горизонту [34] – [37].

На сьогодні виділяють два основні підходи до створення гравійних фільтрів свердловин: формування гравійного фільтра безпосередньо у свердловині та виготовлення гравійного фільтра на денній поверхні з подальшим монтажем у свердловину (рис. 1.2). Перший спосіб є технологічно простішим, проте практично не піддається візуальному контролю якості пакування, що може призводити до утворення каналів фільтрації та нерівномірності структури гравійного шару. Другий спосіб дозволяє здійснювати контроль параметрів фільтра ще на етапі виготовлення, однак потребує додаткових технологічних операцій під час монтажу [37].

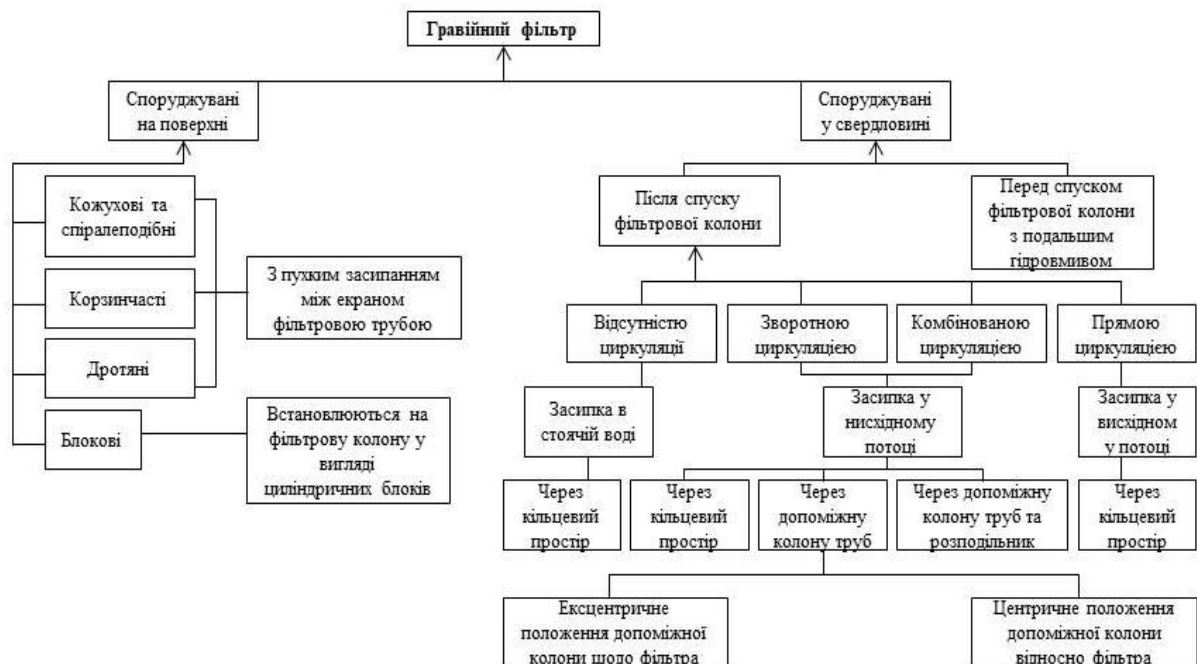


Рисунок 1.2 – Класифікація способів створення гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин

У фільтрах утримувальними отворами запобігання винесенню частинок водоносних порід у свердловину досягається за рахунок використання малих за розміром щілин або пор. Проте в процесі експлуатації відбувається

накопичення частинок породи на поверхні фільтрувальних отворів, що призводить до поступового зменшення їх ефективного живого перерізу. Як наслідок, зростає гідравлічний опір руху води, а також інтенсифікуються процеси хімічної коагуляції (закупорювання). На відміну від таких конструкцій, у гравійних фільтрах подібні негативні явища проявляються значно слабше завдяки більшій площі фільтрації та наявності проміжного зернистого середовища [38], [39].

Гравітаційні фільтри характеризуються наявністю відносно великих водоприймальних отворів, у межах яких утримання частинок ґрунту забезпечується переважно дією сили тяжіння. До цього типу належать конструкції дзвоноподібного, чашоподібного, тарілчастого, зонтоподібного та інших різновидів. Такі фільтри застосовуються переважно в умовах стабільних водоносних порід, де ризик інтенсивного виносу частинок є обмеженим [40] – [44].

Для виготовлення каркасів фільтрів, як правило, використовують металеві обсадні труби, що забезпечують необхідну механічну міцність конструкції. Отвори в них можуть мати круглу або щілинну форму. Геометричні параметри отворів підбирають з урахуванням необхідності забезпечення максимального дебіту свердловини при збереженні стійкості водоносного горизонту. Практика експлуатації та результати розрахунків показують, що оптимальна відкритість (скважність) фільтра повинна становити близько 20 – 25 %, що дозволяє досягти раціонального співвідношення між пропускною здатністю та фільтраційною стійкістю [45] – [47].

Найбільш поширені типи фільтрів, що застосовуються в гідрогеологічних свердловинах в умовах України, наведено рис. 1.3, де представлено їх конструктивні особливості та принцип роботи.

Найбільш поширені типи та конструкції свердловинних фільтрів, що застосовують у практиці облаштування гідрогеологічних свердловин, охоплюють широкий спектр технічних рішень. До них належать: трубчасті фільтри (у тому числі металеві), трубчасті антикорозійні конструкції, фільтри з полімерних матеріалів, склопластикові, а також вироби з кераміки та фарфору.

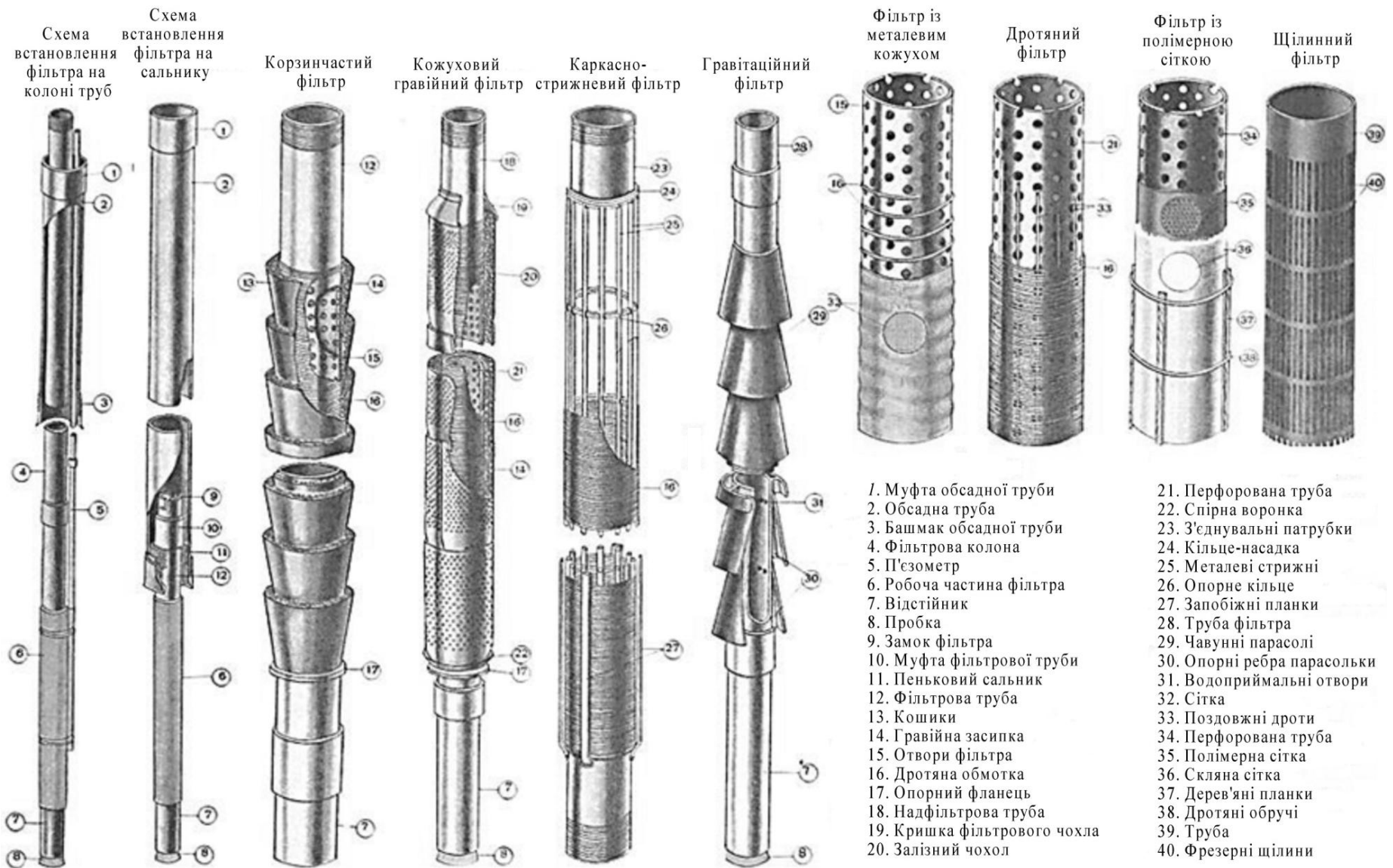


Рисунок 1.3 – Основні типи фільтрів гідрогеологічних свердловин

Окрім цього, використовують каркасно-стрижневі фільтри та їх антикорозійні модифікації, пористо-керамічні й пористо-бетонні конструкції, а також гравійно-клейові фільтри. Значне поширення мають гравійно-обсипні, кожухові, кошикові, а також гравітаційні фільтри (зонтоподібного або дзвоноподібного типу).

Класифікація зазначених конструкцій здійснюється з урахуванням умов їх взаємодії з водоносними породами, зокрема особливостей контакту в зоні «фільтр – пласт». При цьому враховують гранулометричний склад порід, їх стійкість до розмиву, а також фільтраційні властивості середовища. Такий підхід дозволяє обґрунтовано підбирати конструкцію фільтра залежно від конкретних гідрогеологічних умов.

У практиці буріння гідрогеологічних свердловин в Україні найбільшого поширення набули конструкції, які поєднують достатню механічну міцність, корозійну стійкість та високі фільтраційні характеристики. Це насамперед трубчасті та каркасно-стрижневі фільтри, а також гравійні фільтри різних типів, які забезпечують ефективну роботу свердловин у піщаних і слабозцементованих відкладах [15] – [30].

Конструктивні особливості та принципи роботи найбільш застосовуваних типів трубчастих каркасів фільтрів наведено на рис. 1.4.

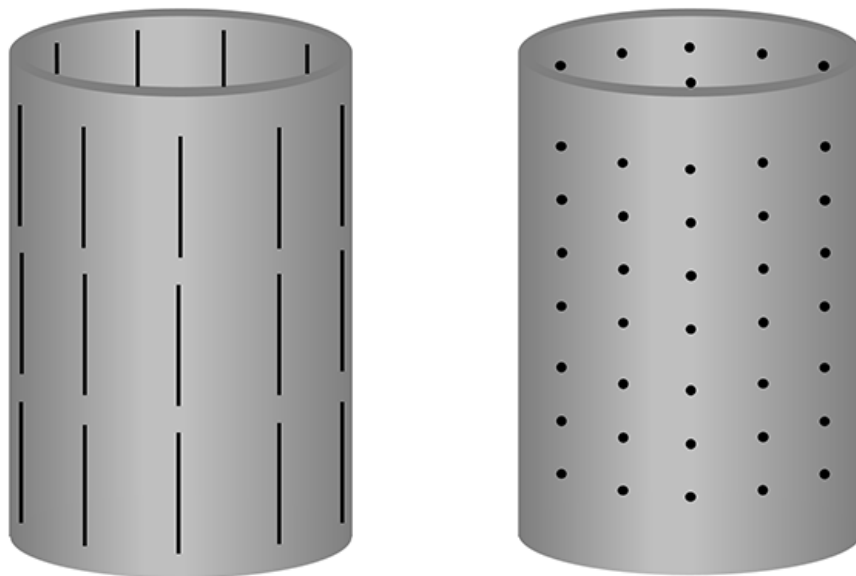


Рисунок 1.4 – Трубчастий каркас фільтра: а – зі щілинними отворами;
б – з круглими отворами

При спорудженні гідрогеологічних свердловин у піщаних водоносних горизонтах різної зернистості широко застосовують фільтри з трубчастими або каркасно-стрижневими основами, поверхня яких додатково покривається фільтраційними сітками. Такі конструкції забезпечують ефективне утримання частинок породи та стабільну роботу свердловини в умовах нестійких або слабозцементованих відкладів [43], [48] – [50].

Фільтраційні сітки виготовляються з різноманітних матеріалів, зокрема зі сталі, міді, латуні, нержавіючої сталі, а також із полімерних матеріалів – полівінілхлориду, нейлону, полістиролу та скловолокна. Вибір матеріалу визначається умовами експлуатації, передусім хімічним складом підземних вод і вимогами до корозійної стійкості та довговічності конструкції.

Фільтри з водоприймальною поверхнею у вигляді сіток є одними з найбільш поширених завдяки їхній відносній простоті виготовлення та ефективності в роботі. Типова конструкція такого фільтра містить опорний каркас у вигляді металевої труби з перфорацією або щілинами, який забезпечує механічну міцність системи. На каркас встановлюється підкладна сітка з відносно великими комірками, що сприяє вільному проходженню профільтрованої води до внутрішніх каналів фільтра. Додатково застосовується дротова спіраль, яка підвищує жорсткість конструкції та забезпечує фіксацію зовнішніх елементів [51], [53].

Зовнішнім шаром виступає основна фільтраційна сітка з дрібнішими комірками, яка безпосередньо виконує функцію утримання частинок породи. Для надійного закріплення сітки на каркасі використовують накладні планки або інші кріпильні елементи. Така багат шарова конструкція дозволяє поєднати високу механічну міцність із ефективними фільтраційними властивостями.

Фільтри з сіткою можуть застосовуватися при спорудженні гідрогеологічних свердловин практично на будь-яких глибинах, що зумовлює їх широке використання в умовах різноманітних геолого-гідрогеологічних середовищ. Важливою перевагою таких конструкцій є можливість їх виготовлення безпосередньо на місці бурових робіт, що спрощує технологію спорудження свердловин. Такі фільтри ефективно використовують у

водоносних горизонтах, представлених пісками різної зернистості, забезпечуючи достатню фільтраційну здатність і стабільність роботи.

Для формування фільтраційної поверхні застосовують різні типи сіток (рис. 1.5), що відрізняються конструкцією плетіння дроту та геометрією отворів. Зокрема виділяють квадратні, гладкі (галунного типу) та кіперні сітки. Квадратні сітки утворюються за рахунок взаємного переплетіння дротів однакового перерізу (круглого або квадратного), розташованих під прямим кутом. Такі сітки, як правило, застосовують у фільтрах, що експлуатуються в умовах крупнозернистих або уламкових порід (гравій, галька), де не вимагається надто тонке фільтрування.

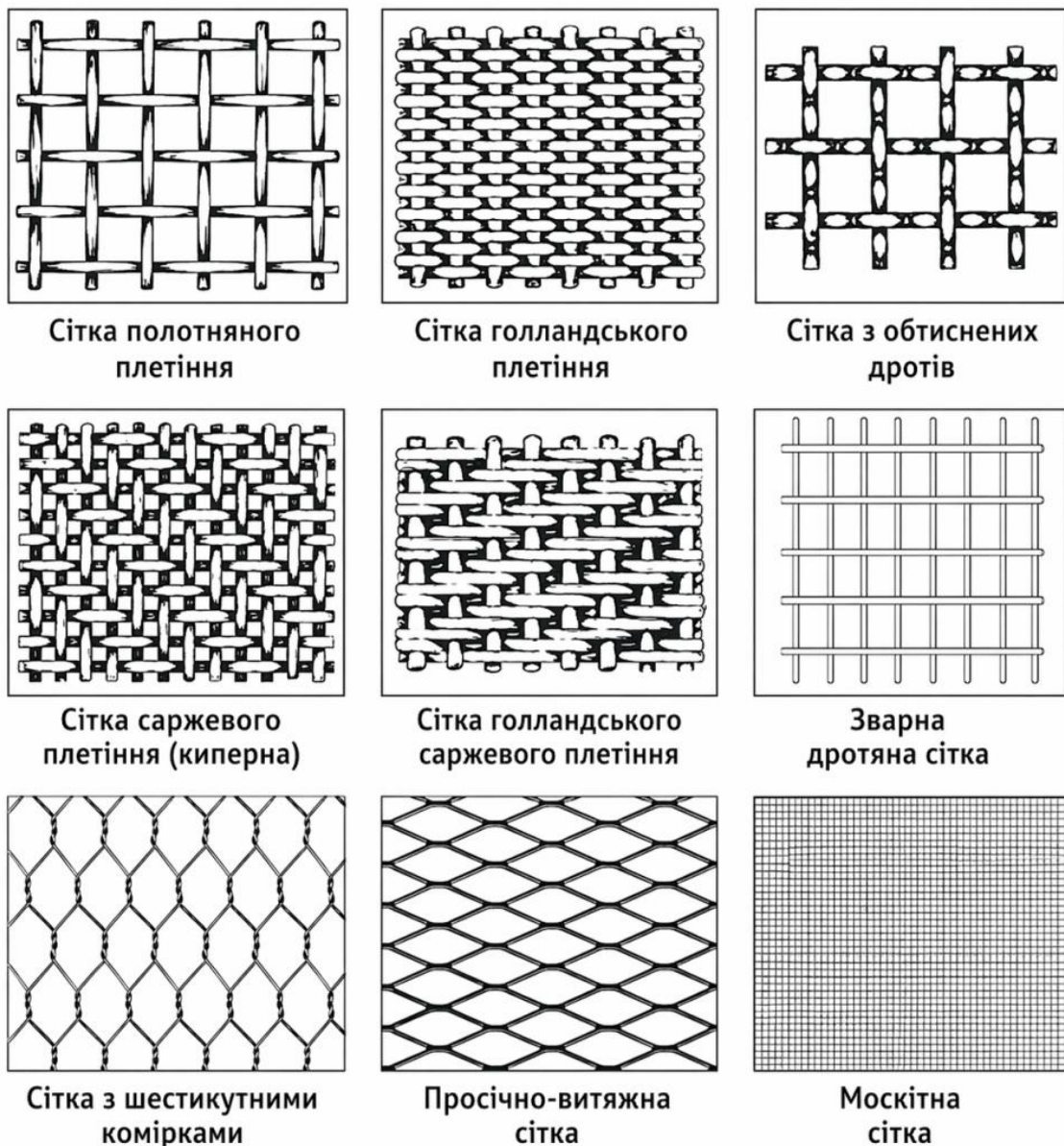


Рисунок 1.5 – Основні типи плетіння фільтраційних сіток

Гладкі (галунні) сітки мають іншу конструкцію: вони складаються з поздовжніх дротів збільшеного перерізу та поперечних дротів меншого діаметра. На відміну від квадратного плетіння, у таких сітках дроти щільно прилягають один до одного, що формує отвори складної, звивистої форми. Це сприяє більш ефективному утриманню дрібних частинок породи та підвищує фільтраційні властивості конструкції.

Кіперні сітки характеризуються особливим типом плетіння, при якому дроти утворюють похилу структуру комірок, що підвищує їх механічну міцність та стійкість до деформацій у процесі експлуатації.

Типовим прикладом застосування сітчастих елементів є дротяний фільтр, змонтований на трубчастому каркасі, який забезпечує необхідну жорсткість конструкції та створює умови для ефективного проходження профільтрованої води до внутрішньої порожнини свердловини. Схематичне зображення такого фільтра наведено на рис. 1.6.

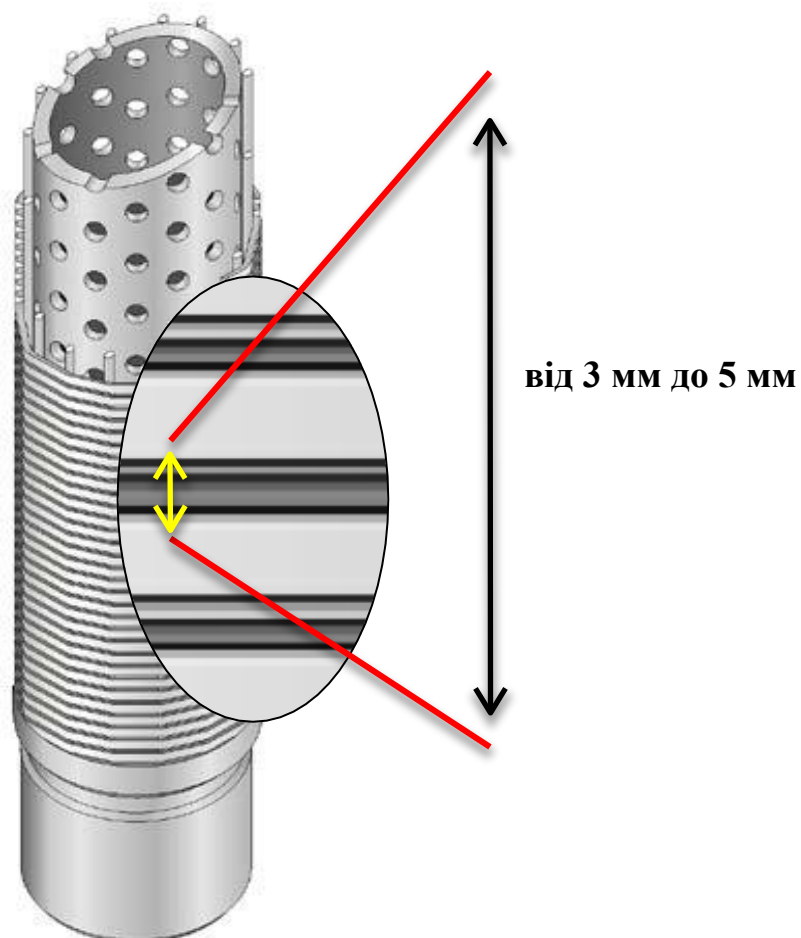


Рисунок 1.6 – Свердловинний дротяний фільтр

Як матеріал для виготовлення фільтрів гідрогеологічних свердловин можуть застосовуватися різні види труб, зокрема металеві з антикорозійними властивостями, які широко використовують при облаштуванні свердловин на мінеральні та термальні води. Значно рідше для цих цілей застосовують чавунні труби. У практиці також набули поширення азбестоцементні труби, які піддаються перфорації аналогічно металевим конструкціям. Основною метою спорудження гідрогеологічних свердловин є забезпечення стабільного дебіту протягом тривалого періоду експлуатації.

У вітчизняній практиці (включаючи умови України) найбільшого поширення набули два основних типи фільтрів - дротяні та сітчасті фільтри, змонтовані на перфорованому трубчастому металевому каркасі. Водночас суттєвим недоліком металевих конструкцій є їх схильність до корозії. Хімічна корозія матеріалу каркаса може посилюватися електрохімічними процесами, зумовленими контактом різнорідних металів. У результаті цього відбувається поступове руйнування елементів фільтра, що разом із процесами колюматації знижує його ефективність у процесі експлуатації.

У зарубіжній практиці переважно використовують три основні типи фільтрів: спіральні-дротяні фільтри з гравійною набивкою типу «Johnson», мостові (з мостоутворюючими отворами) та щілинні фільтри. Спіральні-дротяні фільтри, як правило, виготовляються з нержавіючої сталі та характеризуються високою пористістю (скважністю) у межах 15 – 40 %, а також оптимальною формою вхідних отворів, що забезпечує ефективну фільтрацію та знижує ризик замулювання. Фільтри з мостоутворюючими отворами, виготовлені з вуглецевої сталі з антикорозійним покриттям або з нержавіючої сталі, мають пористість у межах 8 – 25 %. Щілинні фільтри характеризуються нижчою скважністю, яка зазвичай становить 10 – 13 %, що обумовлює їх меншу пропускну здатність, але достатню ефективність у певних гідрогеологічних умовах [21] – [30], [53] – [56].

Основні конструктивні особливості зазначених типів фільтрів наведено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Фільтри типу «Johnson»

Окрему групу свердловинних фільтрів становлять кожухові конструкції, які застосовуються переважно у свердловинах з відкритим вибоєм. Їх використання обумовлене необхідністю ефективного стримування винесення піску при одночасному забезпеченні стабільного припливу пластової рідини. Для виготовлення таких фільтрів застосовують кожухи зі спечених металів, нержавіючої або хімічно стійкої сталі, а також сучасні багат шарові конструкції, включаючи розширювальні екрани та системи з гравійною набивкою (рис. 1.8 – 1.10) [57] – [67].

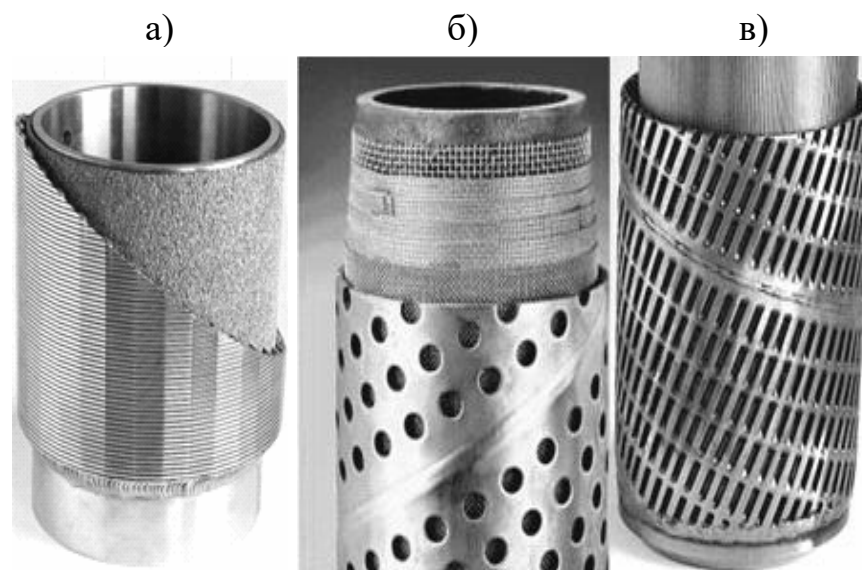


Рисунок 1.8 – Кожухові свердловинні фільтри преміум класу: а – кожух зі спеченого металу; б – кожух Stratapack; в – кожух з виключенням



Рисунок 1.9 – Кожуховий свердловинний фільтр з розширювальним екраном

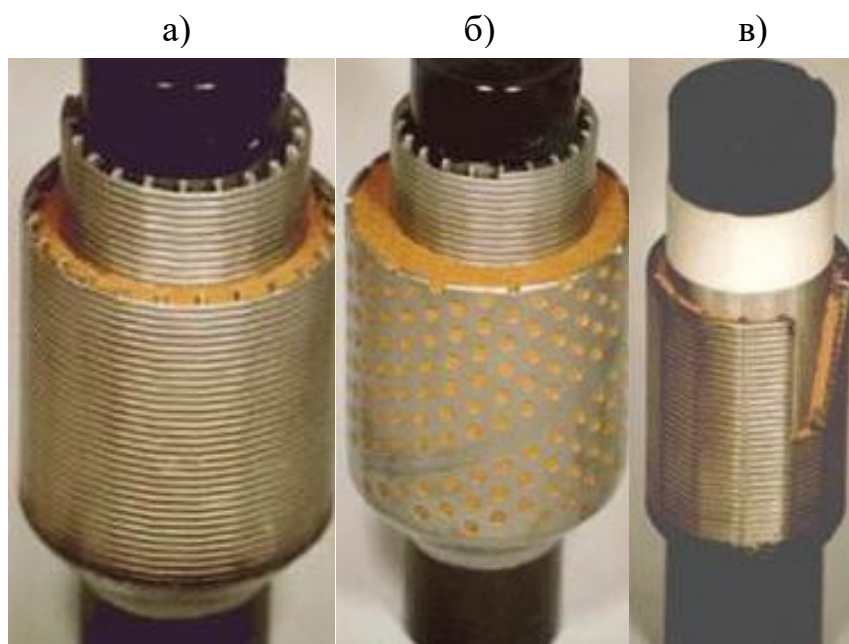


Рисунок 1.10 – Кожухові свердловинні фільтри з гравійною набивкою:
а – з подвійним кожухом; б – з одинарним кожухом; в – з тонким кожухом

Кожухові фільтри характеризуються високою технологічністю та універсальністю застосування. Вони можуть встановлюватися у свердловинах на значних глибинах, виготовлятися як у заводських умовах, так і

безпосередньо на місці проведення бурових робіт. Такі конструкції доцільно використовувати в умовах, коли продуктивний горизонт представлений пісками різної зернистості, оскільки вони забезпечують ефективне поєднання механічної міцності та фільтраційних властивостей [51] – [69].

Конструктивно кожухи можуть виконуватися у вигляді сіток різного типу плетіння, зокрема квадратного, гладкого (галунного) та кіперного. Квадратні сітки формуються шляхом взаємного переплетення дротів однакового перерізу (круглого або квадратного), розташованих під прямим кутом. Такі конструкції, як правило, застосовують в умовах крупнозернистих або уламкових відкладів (гравій, галька), де не вимагається тонке фільтрування.

Кожухові гравійні фільтри мають низку недоліків, які обмежують їх ефективне застосування. Насамперед вони є дорогими у виготовленні та монтажі через складну багатошарову конструкцію. Такі фільтри часто схильні до замулювання, оскільки дрібні пори швидко заповнюються частинками породи та хімічними відкладеннями. Металеві елементи можуть піддаватися корозії, особливо в агресивних водах, що зменшує термін служби конструкції. Монтаж деяких типів фільтрів потребує спеціального обладнання та високої точності, що ускладнює їх застосування в польових умовах. У конструкціях з гравійною набивкою можливі проблеми з нерівномірним розподілом гравію, що може викликати зниження ефективності фільтрації або прорив піску. У сукупності ці фактори ускладнюють експлуатацію таких фільтрів і підвищують витрати на їх використання.

Кожуховий гравійний фільтр (pre-packed sand control screens) застосовують для запобігання винесення піску у свердловинах. Вони використовуються у водозабірних, нафтових і газових свердловинах, особливо в умовах нестійких піщаних порід. Основне їх призначення – забезпечити стабільну роботу свердловини та зменшити надходження механічних домішок у потік рідини.

Конструктивно такі фільтри (рис. 1.11) складаються з перфорованої труби, яка виконує роль каркаса, та одного або декількох фільтраційних шарів. Між внутрішнім і зовнішнім кожухом розміщується зернистий матеріал (пісок

або інші гранули), який попередньо ущільнюється у заводських умовах. Така будова дозволяє створити багатоступеневу систему очищення, де зовнішній шар утримує великі частинки, а внутрішній – дрібні.



Рисунок 1.11 – Кожуховий гравійний фільтр (pre-packed sand control screens)

Важливою особливістю є те, що ці фільтри постачаються вже готовими до встановлення. Це дозволяє відмовитися від операції наміву гравійної набивки у свердловині та спрощує технологію її спорудження. Фланцеве з'єднання забезпечує надійне кріплення секцій і герметичність конструкції.

Разом з тим такі фільтри мають і певні недоліки. Вони є відносно дорогими через складну конструкцію та заводське виготовлення. У процесі експлуатації можливе замулювання фільтраційного шару, що призводить до зниження проникності. Конструкція практично не підлягає відновленню або очищенню у разі засмічення. Крім того, фільтр має фіксовані характеристики, які неможливо змінити під конкретні геологічні умови без повної заміни. Також існує ризик нерівномірного ущільнення фільтраційного матеріалу під час виробництва, що може впливати на ефективність роботи [69] – [98], [100] – [107].

У цілому такі фільтри є ефективним, але досить дорогим і технологічно складним рішенням, що обмежує їх широке застосування, особливо у простих

або малодобітних свердловинах. Це обґрунтовує необхідність пошуку більш простих і економічно доцільних конструкцій фільтрів.

Гравійно-клейові фільтри належать до фільтрів блокового типу та широко застосовуються при обладнанні свердловин у нестійких піщаних відкладах. Такі фільтри формуються у вигляді окремих блоків, які встановлюють на фільтрову колону (рис. 1.12) та утворюють фільтраційний інтервал. За конструкцією вони поділяються на два основні види – монолітні та порожнисті. Монолітні блоки являють собою суцільну структуру із закріпленого гравію, тоді як порожнисті мають внутрішній канал, що зменшує масу елемента та полегшує транспортування і монтаж у свердловину [13], [32], [44], [45], [99].



Рисунок 1.12 – Зображення блокового гравійного фільтра на фільтровій колоні

Формування блокових гравійних фільтрів здійснюється шляхом зв'язування гравійних зерен у єдину просторову структуру за допомогою різних в'язучих матеріалів. Для цього використовувалися гумові та силікатні клеї, клеї типу БФ-2 і БФ-4, бакелітові лаки, бітум, цемент, епоксидні смоли та інші органічні й неорганічні в'язучі речовини рис. 1.13. Основною метою застосування таких матеріалів є забезпечення достатньої механічної міцності блоків під час транспортування, спуску в свердловину та експлуатації. Водночас вибір в'язучої речовини суттєво впливає на фільтраційні властивості, оскільки надлишок в'язучої речовини може зменшувати відкриту пористість і погіршувати водопроникність фільтра [13], [32], [44], [45].



Рисунок 1.13 – Блоковий гравійний фільтр, виготовлений на основі епоксидної смоли

Кріогенно-гравійні фільтри належать до фільтрів блокового типу та є одним із варіантів формування гравійного фільтраційного елемента з

використанням тимчасової в'язучої речовини. У даному випадку для зв'язування гравійних частинок у єдину конструкцію застосовується водний розчин желатину, який після формування блока піддається заморожуванню. У результаті утворюється достатньо міцний фільтраційний елемент, придатний для транспортування та спуску у свердловину рис. 1.14 [53].



Рисунок 1.14 – Кріогенно-гравійний фільтр

Після встановлення у свердловині та під впливом температури навколишнього середовища відбувається поступове розморожування желатинової в'язучої речовини. Це призводить до руйнування зв'язків між зернами гравію та переходу конструкції у стан пухкого гравійного фільтра. Таким чином, реалізується ідея тимчасової фіксації гравійного матеріалу для забезпечення технологічності монтажу з подальшим відновленням його природної пористої структури в процесі експлуатації.

До основних переваг кріогенно-гравійних фільтрів належить відсутність постійної в'язучої речовини в робочому стані, що дозволяє зберегти високу

проникність фільтраційного середовища. Крім того, після розморожування не утворюються додаткові бар'єри для руху рідини, що сприяє зниженню гідравлічного опору та підвищенню ефективності роботи свердловини. Такі блокові гравійні фільтри дозволяють формувати гравійний шар із заданими параметрами ще на етапі виготовлення.

Разом з тим кріогенно-гравійні фільтри мають суттєві обмеження. Основним недоліком є їх залежність від температурних умов. Під час транспортування та спуску в свердловину необхідно забезпечити стабільно низьку температуру для збереження цілісності блока. У протилежному випадку можливе передчасне розморожування, що ускладнює монтаж. Крім того, такі фільтри мають обмеження за глибиною застосування, оскільки з підвищенням температури гірських порід зростає ризик втрати міцності ще до досягнення проектної глибини. У сукупності це звужує сферу застосування кріогенно-гравійних фільтрів, незважаючи на їх потенційні переваги. Водночас закладений у їхній конструкції принцип тимчасового зв'язування гравійного матеріалу є перспективним і може бути використаний при розробці нових технологічних рішень.

Блокові гравійні фільтри мають важливу перевагу – можливість формування гравійного шару із заданими параметрами ще на етапі виготовлення. Це дозволяє контролювати гранулометричний склад, пористість і геометрію фільтраційного елемента. На відміну від традиційної гравійної набивки, яка формується безпосередньо у свердловині, блокові фільтри забезпечують більш рівномірну структуру та передбачувані експлуатаційні характеристики. Крім того, процес виготовлення таких блоків є контрольованим, що дозволяє зменшити вплив людського фактора та забезпечити стабільну якість продукції.

Разом з тим, мають низку суттєвих недоліків. Використання нерозчинних в'язучих речовин призводить до утворення замкнених (тупикових) пор та тріщин, у яких накопичуються дрібні частинки породи (рис 1.15). Це підвищує гідравлічний опір і знижує дебіт свердловини, особливо при використанні дрібнозернистого гравію. Додатковою проблемою є проникнення продуктів

корозії металевих елементів у структуру фільтра, що сприяє його засміченню та погіршує умови фільтрації.

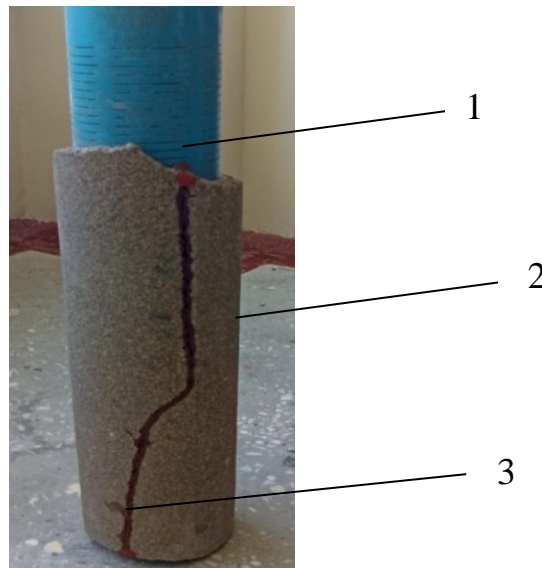


Рисунок 1.15 – Загальний вигляд блокового гравійного фільтра фірми «Пройссаг» на основі бітумної в'язучої речовини:

1 – каркас фільтрової колони;

2 – гравійна набивка; 3 – тріщина в блоковому фільтрі

Складність виникає і під час відновлення продуктивності свердловин. При застосуванні вибухових або кислотних методів обробки відбувається зниження міцності блоків, особливо у випадку використання органічних клеїв, що може призводити до їх руйнування. Також такі фільтри є чутливими до механічних пошкоджень під час транспортування та монтажу. У низці випадків втрати від пошкодження блоків можуть бути значними. Додатково при низьких температурах можливе руйнування структури через замерзання води в порах і її подальше розширення.

Попри зазначені недоліки, блокові гравійні фільтри залишаються перспективним напрямом розвитку фільтраційних систем. Вони поєднують у собі переваги гравійної набивки та заводського контролю якості, що робить їх привабливими для вдосконалення. Саме ці особливості створюють передумови для розробки нових технологій, зокрема із застосуванням біополімерних в'язучих речовин, які дозволяють забезпечити необхідну міцність на етапі

монтажу та подальше формування ефективного пористого середовища в процесі експлуатації свердловини.

Наявність на ринку полілактиду (PLA, polylactic acid) [108] – [110], який є біорозкладним термопластичним полімером рослинного походження з достатніми механічними властивостями та високою технологічністю переробки, дала змогу розпочати виготовлення блокового гравійного фільтра на його основі, чому присвячено другий розділ дисертації.

1.3 Постановка мети і завдань досліджень

Аналіз відомих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин, їх конструктивних особливостей та технологій застосування показав, що в умовах пухких пісках і слабозцементованих водоносних порід традиційні фільтрувальні системи не забезпечують необхідної ефективності роботи свердловин. Основними проблемами залишаються інтенсивне піскування, кольматування прифільтрової зони, зниження дебіту та обмежений термін експлуатації.

Застосування гравійної набивки дозволяє частково вирішити зазначені проблеми, проте традиційні технології її формування характеризуються складністю виконання, нерівномірністю розподілу матеріалу та недостатнім контролем за формуванням фільтраційного середовища. Особливий інтерес становлять блокові гравійні фільтри, які забезпечують більш кероване формування фільтраційної структури, однак існуючі рішення мають обмеження, пов'язані з використанням в'язучих речовин, що знижують ефективну пористість та не забезпечують необхідної технологічності.

У зв'язку з цим виникає науково-прикладне завдання розроблення ефективної технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами із застосуванням біополімерних в'язучих речовин, які забезпечують тимчасове омонолічування гравійного матеріалу з подальшим його розмонолічуванням у свердловинних умовах.

Метою роботи є розробка технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами з попереднім омонолічуванням гравійного матеріалу на денній поверхні у блоки за рахунок використання в'язучої речовини полілактид (PLA), з наступним розмонолічуванням у привибійній зоні свердловини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання досліджень**:

1. Виконати аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин та визначити їх основні недоліки й обмеження застосування.

2. Обґрунтувати доцільність використання блокових гравійних фільтрів із біополімерними в'язучими речовинами та сформулювати вимоги до їх конструкції та технології виготовлення.

3. Розробити склад біополімерного гравійного композита на основі полілактиду (PLA) та дослідити вплив його параметрів на фізико-механічні властивості матеріалу.

4. Дослідити гідравлічні характеристики біополімерного гравійного композита та визначити умови забезпечення необхідної фільтраційної здатності фільтра.

5. Встановити закономірності зміни міцності композита в умовах водонасичення та визначити параметри процесу розмонолічування.

6. Провести стендові дослідження процесу транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру свердловини та визначити фактори, що впливають на допустиму глибину його спуску.

7. Розробити математичну модель визначення допустимої глибини транспортування блокового гравійного фільтра з урахуванням фізико-механічних та гідродинамічних факторів.

8. Виконати дослідно-промислові випробування запропонованої технології в реальних умовах та оцінити її ефективність.

9. Провести техніко-економічну оцінку впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Висновки до першого розділу

1. Надано ґрунтовний аналіз гідрогеологічних умов формування та поширення підземних вод на території України, встановлено їх значну просторову та літолого-стратиграфічну неоднорідність, що суттєво впливає на умови спорудження та експлуатації гідрогеологічних свердловин.

2. Показано, що ефективність роботи гідрогеологічних свердловин значною мірою визначається характеристиками водоносних горизонтів, зокрема їх гранулометричним складом, фільтраційними властивостями та гідродинамічними умовами, що обумовлює необхідність обґрунтованого вибору конструкції фільтра.

3. Виконано аналіз існуючих конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин (сітчастих, щілинних, перфорованих, гравійних та інших), розглянуто їх конструктивні особливості, принцип дії та галузь застосування. Встановлено їх основні переваги та недоліки.

4. Встановлено, що традиційні конструкції фільтрів не забезпечують належного рівня фільтрації в умовах неоднорідних і слабозцементованих порід, що призводить до розвитку негативних процесів, таких як піскування, кольматування та зниження продуктивності свердловин.

5. Проаналізовано сучасні технології фільтрації води у свердловинах та показано, що існуючі технічні рішення мають обмежену ефективність у складних гідрогеологічних умовах і потребують подальшого вдосконалення.

6. Виходячи з проведеного аналізу, доведено доцільність розроблення нових технологічних рішень для обладнання гідрогеологічних свердловин, зокрема із застосуванням блокових гравійних фільтрів, що здатні забезпечити підвищення ефективності роботи водоприймальної частини свердловини.

7. Для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи сформульовано мету та основні завдання досліджень.

8. Результати аналізу теоретичних досліджень, наведених у першому розділі, відображено у наукових працях автора: [16] – [26], [43] – [45], [85].

Розділ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН

2.1 Передумови обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами

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

2.1.1 Геологічні передумови обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами

Геологічна структура регіону, де планується буріння, є одним з ключових чинників при виборі конструкції свердловини та типу фільтрувального обладнання. Особливо це стосується районів з гідрогеологічними умовами, що ускладнюють експлуатацію свердловин без додаткових заходів стабілізації та фільтрації [15].

Однією з основних геологічних передумов для застосування 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 обсипанню [16], [19] – [26].

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 фільтрувальна 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.

Варто також зауважити, що 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 дрібнодисперсних фракцій у свердловину. Установлення гравійної набивки дозволяє створити буферну зону, яка ефективно затримує дрібні частинки, не допускаючи їх проникнення в насосне обладнання [27] – [32].

На сьогоднішній день в регіонах із високим рівнем фільтраційних втрат води (наприклад, у південних областях України) блокові гравійні фільтри дозволяють мінімізувати ці втрати завдяки формуванню більш однорідного фільтраційного середовища між обсадною колоною та водоносним горизонтом.

У роботах наукових дослідників [43], [53], [61], [64], [66], [75], [105], [106] зазначається, що ефективність експлуатації свердловин у пухких осадових відкладеннях значно підвищується при застосуванні гравійної набивки, яка зменшує ймовірність проникнення шкідливих механічних домішок у добуту воду.

2.1.2 Технологічні аспекти обладнання гідрогеологічних свердловин гідрогеологічних блоковими гравійними фільтрами

Технологічні аспекти облаштування гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами обґрунтуванні вибору типу фільтруючих елементів. Блокові гравійні фільтри застосовують у тих випадках, коли стандартні перфоровані або сітчасті фільтри не забезпечують належної продуктивності, стабільності чи довговічності свердловини [53] – [70].

Технологічні передумови використання гравійної набивки – це потреба в ефективному розмежуванні бурової колони та водоносного горизонту з метою

покращення фільтраційних умов. В умовах інтенсивної експлуатації свердловин та значного коливання дебіту блоковий гравійний фільтр виконує функцію динамічного буфера, що забезпечує стабільне надходження води при мінімальних коливаннях напору та без надмірного потрапляння механічних домішок.

Технологія обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами передбачає незворотну втрату міцності біополімерної в'язучої речовини гравійної набивки у водному середовищі, це відбувається за рахунок властивостей біополімерної в'язучої речовини PLA та викликано необхідністю підвищення ефективної пористості гравійної набивки [106] – [108].

Це досягається за рахунок зміни:

- масової концентрації в'язучої речовини PLA;
- фізико-механічних властивостей в'язучої речовини PLA;
- швидкості транспортування блокового гравійного фільтра 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 імпульсної гідравлічної дії. Гравійна набивка діє як рівномірний розподільник потоків, що забезпечує рівномірне очищення по всій довжині водозабірної зони [85], [106].

2.1.2 Економічні аспекти обладнання гідрогеологічних свердловин 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 блокових гравійних фільтрів має низку суттєвих економічних переваг.

Перш за все, варто зазначити, що хоч облаштування 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 [85], експлуатаційні витрати на обслуговування свердловин з блоковим гравійним фільтром у 2 – 3 рази нижчі у порівнянні з аналогічними свердловинами без такого фільтра.

Один з найвагоміших економічних чинників – це зниження частоти піскування свердловин. Завдяки гравійній набивці, яка затримує дрібнодисперсні частинки ще до їхнього проникнення у фільтр, значно скорочується потреба в регулярному очищенні, гідродинамічних обробках та ремонтах. Це зменшує витрати на сервісні роботи, а також запобігає передчасному зносу насосного обладнання.

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 блокових гравійних фільтрів полягають у такому:

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

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

В основу роботи покладена ідея створення технології виготовлення елемента гравійного фільтра блокової конструкції з омонолічуванням гравійного матеріалу за допомогою біополімерної в'язучої речовини PLA, з

подальшою його однопорційною доставкою й установленням у свердловину, з монолітного стану в пухкий за рахунок розмонолічування біополімерної в'язучої речовини під дією водного середовища у свердловині [16] – [23].

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

У табл. 2.1 наведено послідовність виконання технологічних операцій, а також можливі варіанти їх здійснення.

Таблиця 2.1 – Технологічні операції при обладнанні гідрогеологічних свердловин БГФ

Технологічна операція	Можливий спосіб здійснення операцій
Виготовлення БГЕ фільтра	У стаціонарних умовах
	На буровому майданчику
Збірка БГФ	У стаціонарних умовах
	На буровому майданчику
Спуск БГФ по стовбуру свердловини	На колоні бурильних труб
	На лебідці бурової установки
Посадка БГФ	У розкритий горизонт з проектним діаметром
	Гідровмив з одночасним розкриттям горизонту або у «пілот-свердловину»

2.2 Обґрунтування параметрів конструкції та біополімерної в'язучої речовини PLA блокового гравійного фільтра

Фільтри гідрогеологічних свердловин повинні відповідати таким основним вимогам:

- забезпечення максимального дебіту свердловини за мінімального зниження рівня води в ній, а також створення мінімального гідравлічного опору у фільтрувальній 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 за 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 [85]:

- гранулометричний склад гравію;

- якість (ступінь обкатаності, міцність, стабільність) гравію;

- розмір, форми прохідних отворів каркаса фільтра;

- діаметр, довжину та товщину гравійної набивки;

- діаметр і довжину робочої поверхні фільтра.

Зважаючи на те, що питання, пов'язані з якістю та товщиною гравійної набивки, були ретельно вивчені попередніми авторами [53] і залишаються актуальними, а діаметр і довжина робочої поверхні визначаються специфікою геолого-гідрогеологічних умов, для подальшого обґрунтування параметрів конструкції БГФ доцільно:

- уточнити питання вибору гранулометричного складу гравію, виходячи з пористості та фільтраційних характеристик водоносного горизонту;

- обґрунтувати вибір розміру та форму прохідних отворів каркаса фільтрової колони з урахуванням захисту від проникнення дрібних частинок і одночасного зниження гідравлічного опору;

- запропонувати сучасні в'язучі речовини, що відповідають екологічним стандартам;

- урахувати екологічні аспекти на всіх етапах: видобування, транспортування, експлуатації і подальшої утилізації фільтрувальних матеріалів. Відпрацьовані матеріали повинні мати мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Відповідно, сучасна конструкція БГФ повинна не лише забезпечувати ефективне видобування 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 БГФ є визначальним етапом у комплексі робіт, пов'язаних з проектуванням, спорудженням й експлуатацією гідрогеологічних свердловин. Від правильності цього етапу залежить ефективність роботи водоприймальної частини свердловини, її довговічність та стабільність гідродинамічного режиму.

При оснащенні водоприймальної частини свердловини 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 [15], [30]. Це дозволяє визначити не лише середній розмір зерен, але й ступінь їх однорідності.

Відповідно до сфери використання розроблюваної технології, БГФ доцільно застосовувати для оснащення свердловин, пробурених та середньозернистих дрібнозернистих пісках. Тип фільтра підбирається з урахуванням фільтраційних властивостей водоносного горизонту, згідно з рекомендаціями ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди» (табл. 2.2). У зазначеному нормативному документі передбачено використання трубчастих та стрижневих фільтрів із одношаровим, двошаровим або багатошаровим гравійно-піщаним обсіпанням для тривалої експлуатації гідрогеологічних свердловин. У випадках, коли техніко-технологічні умови дозволяють, допустимо також застосовувати блокові гравійні фільтри.

Таблиця 2.2 – Вимоги до фільтрів гідрогеологічних свердловин

Порода водоносних пластів	Тип та конструкція гравійних фільтрів
Піски середньозернисті з переважаючим розміром частинок 0,25 – 0,5 мм (понад 50 % за масою)	Стрижневі та трубчасті фільтри з водоприймальною поверхнею з дротяної обмотки, сітки квадратного плетіння, штампованого листа з нержавіючої сталі з піщано-гравійним покриттям, спіральні-стрижневі
Дрібнозернисті піски з переважаючим розміром частинок 0,1 – 0,25 мм (понад 50 % за масою)	Фільтри стрижневі та трубчасті з водоприймальною поверхнею з дротяної обмотки, сітки галонового плетіння, штампованого листа з нержавіючої сталі з одношаровим або двошаровим піщано-гравійною набивкою, спіральні-стрижневі

Існуючі розбіжності у рекомендаціях щодо вибору типу фільтра пояснюються відмінностями в технологіях буріння та умовами формування

якісної гравійної набивки. У межах запропонованої технології, конструкція БГФ передбачає блоковий гравійний фільтр із 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 обкатаний, очищений від глинистих домішок пісок, гравій або піщано-гравійну суміш. Матеріал має 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 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди». Зокрема, фракційний склад гравію повинен забезпечувати надійну затримку частинок водоносної породи, не допускаючи їх проникнення у фільтр, водночас не створюючи надмірного опору руху води.

При підборі гравійного матеріалу БГФ слід дотримуватися таких співвідношень

$$\frac{D_{\text{сер.}}}{d_{50}} = \frac{10}{16}, \quad (2.1)$$

де $D_{\text{сер.}}$ - середній діаметр частинок гравію у фільтрувальному блоці.

З метою розширення області застосування блокових гравійних фільтрів, а отже, залучення для питного водопостачання великої кількості ізольованих екологічно чистих водоносних горизонтів, складених дрібнозернистими і середньозернистими пісками, пропонується використовувати блокові гравійні фільтри, які мають діаметр гравійних частинок 0,5 – 0,75 мм.

Компонування фільтрової колони стандартне (рис. 2.1), містить відстійник, робочу частині та надфільтрову частину. Діаметри відстійника d_6 та надфільтрової труби d_n зазвичай дорівнюють діаметру робочої частини фільтра $d_{\text{рч}}$ або його каркаса

$$d_{\text{к}} = d_{\text{рч}} = d_{\text{н}} \quad (2.2)$$

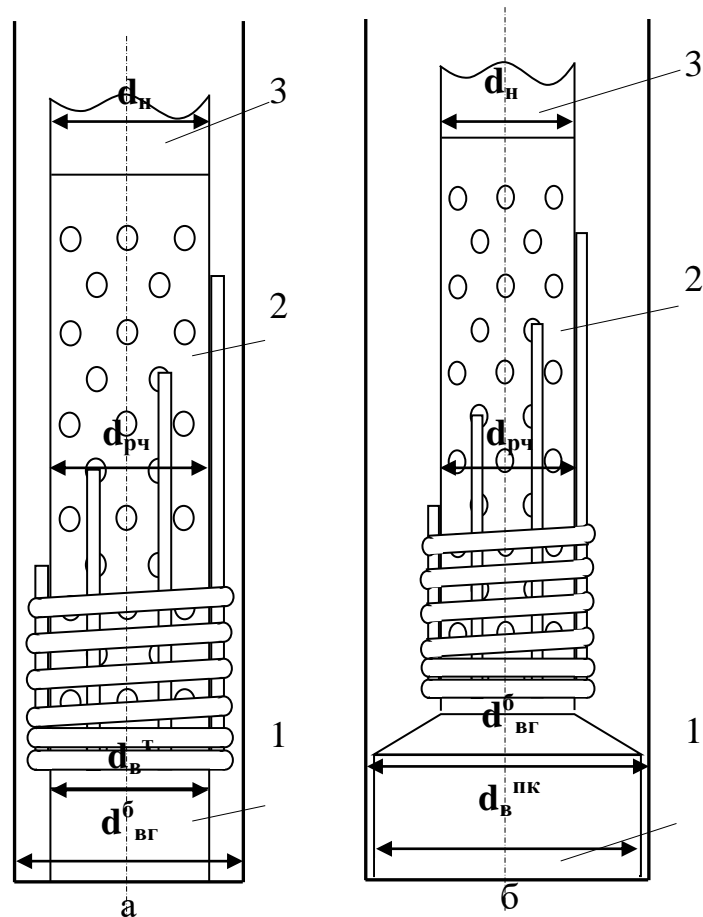


Рисунок 2.1 – Схема компонування фільтрової колони:

- а – трубчастий фільтр, з круглою перфорацією водоприймальної поверхні з дротяної обмотки, з традиційною компоновкою;
- б – трубчастий фільтр, з круглою перфорацією водоприймальною поверхнею з дротяної обмотки, з відстійником розширеного контуру;
- $d_{в\delta}^{\delta}$ – діаметр свердловини в межах водоносного горизонту;
- 1 – відстійник; 2 – трубчастий каркас фільтра; 3 – надфільтрова труба

при цьому діаметр фільтра дорівнює

$$d_{рч} = d_{в\delta}^{\delta} - 100, \quad (2.3)$$

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

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

Для зниження ймовірності деформації фільтруючої поверхні та збільшення термінів міжремонтного періоду за рахунок застосування нетрадиційної компоновки фільтрової колони з максимально можливим об'ємом відстійника при збереженні його довжини. При цьому вибір діаметра відстійника здійснюється виходячи з

$$d_o^{пк} = d_{вг}^б - (1 \dots 20 \text{ мм}) \quad (2.4)$$

Тоді $d_o^{пк} > d_o^m 99 \dots 80 \text{ мм}$.

Схематичне зображення схеми встановлення БГФ у свердловині наведено на рис. 2.2.

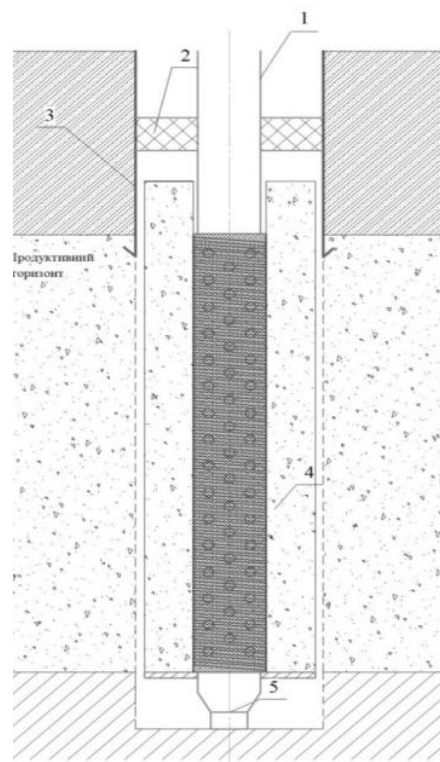


Рисунок 2.2 – Схема встановлення БГФ у свердловині:

1 – фільтрова колона; 2 – пакер; 3 – обсадна колона; 4 – БГФ; 5 – відстійник

Застосування запропонованої компоновки блокового гравійного фільтра зі збільшеним відстійником, дозволить:

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

2.3 Обґрунтування та вибір біополімерної в'язучої речовини PLA

У процесі виконання дисертаційного дослідження було проведено комплексний аналіз та експериментальне опрацювання різних типів в'язучих речовин, придатних для формування блокових гравійних елементів фільтрів гідрогеологічних свердловин. Дослідження охоплювали як традиційні органічні та неорганічні в'язучі (цементні системи, епоксидні смоли, модифіковані клейові композиції), так і альтернативні матеріали на основі природних полімерів (крохмальні, цукровмісні й інші біорозкладні сполуки). Результати цих досліджень відображено у серії патентів №№ 154865UA, 154866UA, 154867UA, 155090UA, 156359UA, 154865UA, 154866 UA, 154868UA, 159896UA, 159897UA, 37234KZ, 37252KZ, 37900KZ, присвячених конструкціям блокових гравійних фільтрів і способам їх виготовлення, що підтверджує системність та послідовність наукового пошуку.

Проведений аналіз показав, що більшість традиційних в'язучих речовин, незважаючи на забезпечення достатньої початкової міцності, мають суттєві недоліки, які обмежують їх використання в умовах гідрогеологічних свердловин. Зокрема, застосування цементних і полімерних (епоксидних)

систем призводить до часткового або повного перекриття порового простору гравійного середовища, що негативно впливає на фільтраційні властивості. Крім того, такі матеріали практично не розмонолічуються у водному середовищі, що унеможлиблює перехід від монолітного стану до ефективної гравійної набивки після встановлення фільтра. Біополімерні матеріали на основі крохмалю та цукрів, навпаки, характеризуються швидкою розчинністю, що не забезпечує необхідної механічної міцності під час транспортування елементів по стовбуру свердловини.

У результаті багатоваріантних досліджень було встановлено, що оптимальний в'язучий матеріал для блокового гравійного фільтра має відповідати таким вимогам:

- бути інертним по відношенню до гравійного матеріалу;
- при транспортуванні та в процесі складання фільтра на буровій – бути міцним;
- у процесі транспортування по стовбуру свердловини – не взаємодіяти та бути інертним по відношенню до свердловинної рідини;
- при тривалому гідродинамічному впливі навколишнього середовища – набувати реологічних властивостей води;
- бути екологічно чистим;
- бути недефіцитним і мати невисоку вартість.

У зв'язку з цим подальші дослідження у роботі були зосереджені на обґрунтуванні вибору, властивостей та умов застосування біополімерної в'язучої речовини полілактид (PLA) для виготовлення блокових гравійних елементів фільтра.

Полілактид (PLA, polylactic acid) належить до класу біополімерів, які отримують із відновлюваної рослинної сировини, та є одним із найбільш досліджених і промислово поширених біорозкладних термопластів. Останніми десятиліттями PLA знайшов широке застосування у медицині, пакувальній промисловості, 3D-друці, виробництві одноразових виробів та інженерних виробів, що зумовлено поєднанням достатніх механічних властивостей, технологічності переробки та відносної екологічної безпеки [107] – [110].

З огляду на перспективи використання PLA як в'язучої речовини в блокових гравійних фільтрах, актуальним є аналіз його походження, різновидів, фізико-механічних і хімічних властивостей, а також поведінки у водному середовищі та можливих змін в умовах експлуатації свердловин [111] – [115].

Полілактид є полієфіром молочної кислоти, яку отримують шляхом ферментації вуглеводної сировини рослинного походження. Як джерела сировини найчастіше використовують кукурудзяний крохмаль, цукрову тростину, цукрові буряки або інші біомаси, багаті на глюкозу. У промислових умовах спочатку отримують молочну кислоту, потім з неї синтезують циклічний димер – лактид, після чого шляхом кільцевої полімеризації отримують полілактид з необхідною молекулярною масою [116] – [117].

PLA належить до полімерів відновлюваного походження, що принципово відрізняє його від традиційних нафтохімічних полімерів (поліетилену, поліпропілену, ПВХ тощо). Саме ця особливість є однією з причин активного розвитку досліджень та промислового виробництва PLA у контексті сталого розвитку та зменшення екологічного навантаження [118].

Молочна кислота існує у двох оптичних ізомерах: L- та D-форма. Відповідно, полілактид може бути синтезований у вигляді [119], [120]:

- PLLA (poly-L-lactic acid) – полімер на основі L-лактиду;
- PDLA (poly-D-lactic acid) – полімер на основі D-лактиду;
- PDLLA (poly-D,L-lactic acid) – рацемічна суміш обох форм.

Співвідношення L- та D-ланок у полімерному ланцюзі істотно впливає на структуру та властивості матеріалу. PLLA зазвичай є більш кристалічним, характеризується вищою жорсткістю та температурою плавлення, тоді як PDLLA має більш аморфну структуру, меншу кристалічність і, відповідно, меншу жорсткість, але вищу ударну в'язкість. Таким чином, шляхом керування стереохімічним складом PLA можна регулювати його механічні та термічні властивості [121].

Важливими параметрами є молекулярна маса полімеру, ступінь кристалічності та наявність модифікуючих добавок (пластифікаторів, наповнювачів, стабілізаторів). Промислові марки PLA (зокрема типу LX, Ingeo

та ін.) можуть істотно відрізнитися між собою за в'язкістю розплаву, міцністю, жорсткістю та швидкістю втрати міцності у вологому середовищі, що дозволяє підбирати матеріал під конкретні інженерні задачі [122].

Полілактид належить до термопластичних поліефірів і характеризується такими типовими властивостями [123]:

- густина близько 1,24 – 1,27 г/см³;
- межа міцності при розтягу на рівні 50 – 70 МПа (залежно від марки LX175, 575, 975 та ступеня кристалічності);
- модуль пружності 2 – 3 ГПа;
- відносно висока жорсткість і порівняно невелика ударна в'язкість у немодифікованому стані;
- температура склування в межах 55 – 65 °С;
- температура плавлення приблизно 200 – 260 °С.

За механічними характеристиками PLA можна порівняти з деякими традиційними конструкційними пластиками, зокрема з полістиролом або ПЕТ, однак він має нижчу теплостійкість і більшу крихкість у немодифікованому вигляді. Разом з тим для багатьох інженерних застосувань, де не потрібна робота при високих температурах, PLA забезпечує достатній рівень міцності та жорсткості [124].

Важливою перевагою PLA є його технологічність: матеріал легко переробляється методами лиття під тиском, екструзії, пресування та 3D-друку. Це дає змогу формувати з нього як суцільні вироби, так і композиційні матеріали, зокрема з мінеральними наповнювачами (піском, гравієм, мікропорошками), що є принципово важливим для створення гравійних композитів [125].

Ключовою особливістю полілактиду є його здатність до гідролітичної деградації. Хімічна будова PLA містить естерні зв'язки, які під дією води поступово розщеплюються. У результаті відбувається зменшення молекулярної маси полімеру, погіршення механічних властивостей і, зрештою, руйнування матеріалу до низькомолекулярних продуктів, основним з яких є молочна кислота [126], [127].

Швидкість гідролізу PLA залежить від низки факторів:

- температури середовища (з підвищенням температури процес значно прискорюється);
- наявності води та її доступності до об'єму матеріалу;
- рН середовища (кислі та лужні умови можуть прискорювати руйнування);
- ступеня кристалічності (аморфні ділянки руйнуються швидше, ніж кристалічні);
- геометрії виробу та співвідношення поверхні до об'єму.

У водному середовищі при помірних температурах (близько 10 – 25 °C), характерних для більшості гідрогеологічних свердловин, процес розпаду структури PLA є відносно повільним і може тривати місяці або навіть роки, залежно від конкретної марки полімеру й умов експлуатації. На початкових етапах відбувається зниження міцності та модуля пружності, тоді як геометрична форма виробу може зберігатися ще досить тривалий час [128] – [130].

Ця особливість є принципово важливою для застосування PLA у блокових гравійних фільтрах: матеріал може виконувати функцію тимчасового в'язучого, забезпечуючи необхідну міцність елемента на етапі транспортування та спуску у свердловину, а згодом поступово втрачати міцність і не перешкоджати формуванню робочої фільтраційної структури гравійного середовища [131].

Умови експлуатації свердловини характеризуються поєднанням гідростатичного тиску, наявності води або водонасичених флюїдів, відносно стабільної температури та можливих коливань хімічного складу середовища. За таких умов PLA зазнає, передусім, гідролітичної деструкції, інтенсивність якої визначається температурою та доступністю води до об'єму полімеру [132].

Для блокового гравійного фільтра це означає, що на початковому етапі після спуску в свердловину елемент зберігає необхідну механічну цілісність, забезпечуючи стабільність конструкції. Надалі, у процесі експлуатації, відбувається поступове зменшення міцності полімерного зв'язку між зернами

гравію, що переходить від «омонолізованого» стану до більш вільної гравійної структури, яка працює як класичний гравійний фільтр.

PLA у даному застосуванні виконує роль керованого тимчасового в'язучого, властивості якого змінюються з часом у напрямку, що є потенційно сприятливим для фільтраційної системи.

Полілактид вважається одним із найбільш біосумісних і безпечних полімерів. Він широко застосовується у медицині (шовні матеріали, імплантати, системи доставки лікарських засобів), що саме по собі свідчить про його низьку токсичність та добру біологічну переносимість [133].

Продуктом розпаду PLA є молочна кислота, яка є природною сполукою для живих організмів і постійно присутня в метаболічних процесах людини. У концентраціях, що можуть утворюватися при повільному розкладанні PLA у водному середовищі, молочна кислота не становить токсикологічної загрози для людини. Саме тому PLA широко використовують у пакуванні харчових продуктів та медичних виробів [134] – [138].

З екологічної точки зору PLA також розглядається як матеріал зі зниженим ризиком негативного впливу на довкілля, оскільки він не містить важких металів чи токсичних добавок і здатний до біорозкладу за відповідних умов. Для застосування у гідрогеологічних свердловинах ця властивість є принципово важливою з погляду санітарної безпеки й охорони водних ресурсів.

2.3.1 Етапи виготовлення біополімерних гравійних елементів фільтра

Виготовлення циліндричних форм для біополімерного гравійного елемента фільтра, згідно запропонованої технології [46], можливо: у стаціонарних умовах; на буровому майданчику. В загальному вигляді для виготовлення БГФ необхідно виконати такі етапи:

- а) підготовка металевих циліндричних форм до виготовлення БГЕ фільтра;
- б) підготовка гравійного матеріалу;
- в) підготовка біополімерної в'язучої речовини PLA;
- г) підготовка композита гравійного матеріалу та в'язучої речовини PLA;

- д) формування БГЕ фільтра;
- е) процес омонолічування БГЕ фільтра згідно з запропонованою технологією;
- ж) виймання БГЕ фільтра з форм.
- з) оцінка якості БГЕ, виготовленого за запропонованою технологією.

2.3.2 Підготовка циліндричних форм до виготовлення БГЕ фільтра

Для виготовлення БГЕ фільтрів використовувались циліндри, які склалися з металевої труби зовнішнім діаметром 185 мм з товщиною стінки 0,5 мм.

Для виготовлення порожнини у БГЕ фільтра використовувались два елементи, оцинкованої труби зовнішнім діаметром 115 мм з товщиною стінки 0,5 мм та довжиною 100 мм. Перший елемент являє собою циліндр, виготовлений з металевої труби діаметром 115 мм × 0,5 мм × 100 мм. Другий - також з металевої труби діаметром 185 мм × 0,5 мм × 100 мм.

Для виготовлення порожнини надівається другий. На рис. 2.3 показана форма для виготовлення БГЕ фільтра.

Таким чином ми отримуємо роз'ємний елемент, який потім буде видалятися з БГЕ фільтра.

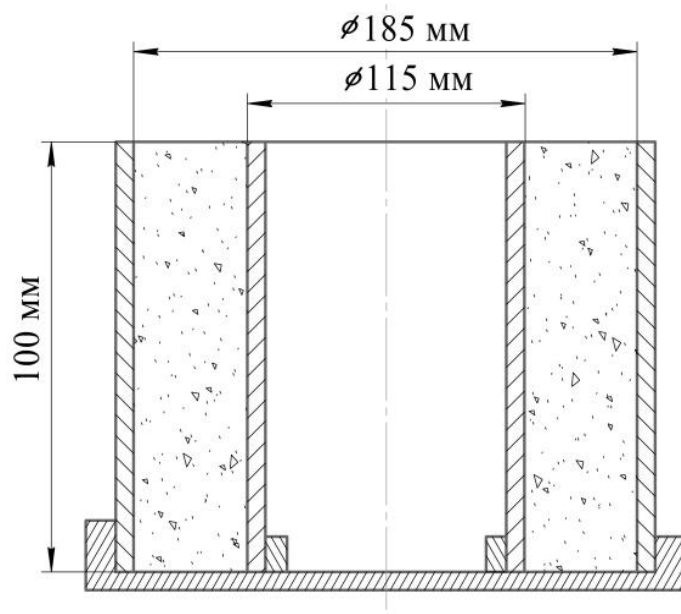


Рисунок 2.3 – Форма для виготовлення БГЕ фільтра

2.3.3 Підготовка гравійного матеріалу

Підготовка гравійного матеріалу містить в себе такі етапи:

1. Промивання гравійного матеріалу для видалення сторонніх частин, які знаходяться у ньому, доки вода не стане чистою.
2. Сушіння гравійного матеріалу з метою його подальшого розділення на фракції.
3. Розділення сухого та чистого гравійного матеріалу на фракції за гранулометричним складом.
4. Зважування сухого гравійного матеріалу у кількості, необхідній для виготовлення БГЕ фільтра тієї чи іншої концентрації.

Розділення гравійного матеріалу за гранулометричним складом на фракції проводилось методом просіювання його крізь набір сит з різним розміром комірок 1,5 мм; 1,0 мм; 0,75 мм; 0,5 мм; 0,25 мм. Сита встановлювали на вібраційний стіл і проводили розділення гравійного матеріалу за гранулометричним складом на фракції: менше 0,25 мм; 0,25 – 0,5 мм; 0,5 – 0,75 мм; 0,75 – 1,0 мм; 1,0 – 1,5 мм.

Гравій з фракцією менш 0,25 мм відбраковувався.

Найбільшу масову кількість гравійного матеріалу було отримано фракції 0,5 – 0,75 мм, яка і використовувалась для виготовлення елементів блокового гравійного фільтра.

2.3.4 Підготовка в'язучої речовини PLA

Як в'язучі використовували гранули PLA LX175 стандарт (рис. 2.4).

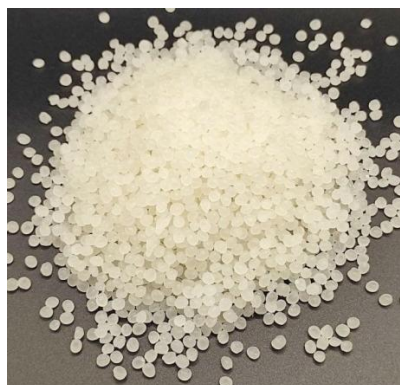


Рисунок 2.4 – Гранули PLA LX175 стандарт

Гранули PLA LX175 (полілактид) – це високоякісний біополімер, вироблений з полімолочної кислоти – поновлюваних рослинних ресурсів, таких як кукурудза та цукровий очерет. Вони ідеально підходять для 3D-друку та інших промислових застосувань, маючи відмінну міцність та стабільність.

Технічна характеристика в'язучої речовини PLA LX175 стандарт має температуру екструзії 220 – 260 °С, натуральний колір (білий) і час твердіння 2 – 4 год при +20°C.

Гранули PLA були придатні до використання і не вимагали попередньої підготовки.

Підготовку гранул PLA, як біополімерної в'язучої речовини, проводили в такій послідовності:

1. Зважували гранули PLA в кількості, необхідній для виготовлення БГЕ фільтра тієї чи іншої концентрації від 4 – 16 %.
2. Висипали необхідну кількість гранул PLA в ємність та нагрівали, до температури екструзії 220 – 260 °С протягом 60 хв.
3. Рідку масу PLA охолоджували за кімнатної температури +20°C протягом 2 год.

Після оцінки властивостей біополімерної в'язучої речовини гранули PLA змішували з гравійним матеріалом.

2.3.5 Підготовка суміші гравійного матеріалу та біополімерної в'язучої речовини PLA для виготовлення БГЕ фільтра

Композит для БГЕ фільтра виготовлявся з різними концентраціями біополімерної в'язучої речовини PLA.

Процес змішування компонентів БГЕ проводили у такій послідовності:

1. Гравійний матеріал потрібної фракції висипали в ємність.
2. Додавали гранули PLA.
3. Усе нагрівали та перемішували міксером до однорідної маси за температури 240 – 260°C.
4. Отриманий композит висипали у металеві форми та охолоджували при кімнатній температурі +20C° протягом 2 годин.

У табл. 2.2 наведено масу речовин, необхідні для виготовлення БГЕ фільтра.

Таблиця 2.3 – Маса речовин, необхідних для виготовлення БГЕ фільтра

Загальна маса композита, г	Гравій, г	PLA LX175, г	Масова концентрація PLA у БГЕ фільтра, %
3125	3000	125	4
3260	3000	260	8
3409	3000	409	12
3571	3000	571	16

2.3.6 Формування БГЕ фільтра

Формування БГЕ фільтра здійснюють таким чином:

1. У радіальний простір форми БГЕ фільтра, встановленого на площину, між зовнішнім циліндром діаметром 185 мм і висотою 100 мм і внутрішнім циліндром діаметром 115 мм і висотою 100 мм засипають так, щоб не було ніяких пустот.

2. Композит засипають повністю до висоти 100 мм.

3. Форму встановлюють на вібростенд і проводять вібраційне утрамбовування суміші протягом 5 хв.

4. Після вимкнення вібростенда форму доповнюють композитом і знову вмикають вібростенд на 5 хв. Процес повторюють до тих пір, поки форма повністю не буде заповнена композитом.

2.3.7 Процес омонолічування БГЕ фільтра

Процес омонолічування БГЕ фільтра проводим таким чином:

1. Отримана форма БГЕ фільтра з гравійного композита омонолічується за рахунок охолодження біополімерної в'язучої речовини PLA;

2. Охолоджується у кімнаті за температури + 20°C.

3. Форма з БГЕ фільтра витримується у кімнаті протягом 2 – 4 год.

2.3.8 Вилучення БГЕ фільтра з металевих циліндричних форм

Процес вилучення БГЕ фільтра з металеві циліндричної форми виконувався в кілька етапів:

1. З форми видаляють центральний (нерозрізаний) циліндр.
2. Видаляють розрізаний циліндр.
3. З зовнішнього циліндра діаметром 185 мм знімають хомути, що стягують дві половини цього циліндра, і половини циліндра відокремлюють від елемента фільтра.

2.3.8 Оцінка якості виготовленого БГЕ фільтра

Після вилучення БГЕ фільтра з форми проводилася візуальна оцінка його якості (рис. 2.5) на предмет відсутності в елементі раковин (каверн), тріщин, зяючих порожнин. Наявність таких недоліків неприпустима.



Рисунок 2.5 – Приклад якісного формування БГЕ

При виявленні недоліків виготовлення – елемент відбракували і виготовляли на його заміну інший.

2.3.9 Збірка робочої частини блокового гравійного фільтра

Збірка фільтра здійснюється на денній поверхні бурового майданчика шляхом з'єднання заздалегідь омонолічених БГЕ з фільтровою колоною. Час збірки блокового БГФ залежно від його довжини може досягати 15 – 20 хв. При цьому БГЕ витягують з транспортної плівки. Складання фільтрової колони починають з надфільтрової частини і закінчують установленням нижньої секції з відстійником.

Процес складання на буровому майданчику здійснюють у такій послідовності:

а) заздалегідь підготовлені труби надфільтрової частини колони встановлюють на «козли» і до нижньої частини надфільтрової колони приєднують муфту;

б) БГЕ блокової конструкції надягають на надфільтрову колону. Операція здійснюється так: помічник бурильника підводить верхню частину надфільтрової колони, потім бурильник надягає на неї перший БГЕ, після цього помічник опускає її на «козли» і переміщує БГЕ до муфти. У цей час бурильник витягує наступний БГЕ з плівки. Дана операція повторюється до повного заповнення надфільтрової колони БГЕ;

в) переходимо до складання фільтрувальної частини колони: заздалегідь підготовлені труби фільтрувальної частини колони з приєднаними до неї підкладними прутками і дротяною обмоткою (мережею) встановлюють на «козли» і до нижньої її частини приєднують муфту. Потім надягають БГЕ на фільтрувальну частину колони. Процес складання аналогічний складанню надфільтрової частини;

г) останньою збирається нижня свічка фільтрової колони. Для цього до її нижньої частини приєднується відстійник розширеного контуру. Операція по збиранню фільтрувальної частини колони аналогічна для кожної свічки.

У разі збирання БГФ в стаціонарних умовах вони транспортуються на бурову у транспортній плівці. Порядок збирання БГФ аналогічний;

д) спуск фільтрової колони здійснюється у зворотному порядку її складання.

Для цього до верхньої частини нижньої секції фільтрової колони приєднують монтажний хомут, до якого при виконанні СПО приєднані стропи. Після цього її опускають у свердловину. Монтажний хомут спирається на ротор установки (обсадну колону), тим самим утримуючи труби на усті свердловини.

е) другий монтажний хомут приєднується до наступної труби, до якого перед підйомом приєднують стропи. Після її підйому труби з'єднують за допомогою муфти. З'єднання труб здійснюється вручну;

ж) після з'єднання труб колону піднімають і з нижньої труби знімають монтажний хомут, який приєднують до наступної труби. З'єднані труби опускають у свердловину до моменту, коли монтажний хомут ляже на ротор установки (обсадну колону). Операції з монтажу повторюють до повного складання фільтрової колони;

з) після повного складання фільтрова колона транспортується у водоприймальну частину свердловини.

2.4 Обґрунтування та вибір технологічної схеми доставки

На сьогоднішній день існує багато способів доставки гравійного матеріалу для створення гравійної набивки фільтрової колони:

- по бурильній колоні;
- по стовбуру свердловини;
- на бурильній колоні.

Недоліки традиційних технологій очевидні: виробництво пухких обсіпань вимагає високої технічної кваліфікації бурового персоналу, яка часто не відповідає нормативним вимогам; значні часові та матеріальні витрати супроводжують виконання СПО – наприклад, при глибині свердловини 100 м процес триває приблизно 1 год, а при 500 м – понад 5 год; сам процес є трудомістким і супроводжується ризиком виникнення гідроударів через різке прискорення та гальмування; для якісного формування гравійної набивки потрібне складне поверхневе та вибійне обладнання, що збільшує вартість робіт; окрім того, під час транспортування можливе зависання гравійного

матеріалу з утворенням пробок, усунення яких потребує додаткових витрат часу.

Для усунення недоліків пропонується доставляти БГФ на фільтровій колоні по стовбуру свердловини.

У табл. 2.3 наведено баланс часу, що витрачається на облаштування свердловини БГФ. Вона допомагає оцінити часові витрати на кожен етап робіт.

Таблиця 2.4 – Розподілу часу, що витрачається на кожен етап обладнання свердловини БГФ

№ п/п	Етап роботи	Орієнтовний відсоток від загального часу (%)	Деталізація роботи
1	Підготовчі роботи	10 – 15	Мобілізація бурової установки, інструментів, обсадних труб, фільтрів, розчинів. Розбивка та облаштування майданчика. Забезпечення водою
2	Буріння свердловини	40 – 50	Безпосередньо проходка стовбура свердловини. Промивка та очищення свердловини від шламу. Можливі геофізичні дослідження
3	Монтаж обсадної колони	15 – 20	Опускання та з'єднання секцій обсадних труб до проектної глибини. Забезпечення вертикальності колони
4	Встановлення фільтрової колони разом з БГФ	10 – 15	Монтаж фільтрової колони (блоковим гравійним фільтром) у водоносний горизонт. Під'єднання до обсадної колони
5	Цементування затрубного простору	5 – 10	Закачування цементного розчину в кільцевий простір між обсадною колоною та стінками свердловини (вище фільтра) для герметизації
6	Освоєння та прокачування свердловини	5 – 10	Первинна прокачка для очищення фільтра та виведення свердловини на стабільний режим. Визначення дебіту та динамічного рівня. Відбір проб води
7	Демобілізація та прибирання	2 – 5	Демонтаж бурового обладнання. Прибирання території, утилізація відходів

Відсоток може змінюватися залежно від глибини свердловини, умов ґрунту, обраної технології тощо.

2.4.1 Посадка блокового гравійного фільтра у продуктивний горизонт

Монтаж фільтрової колони з блоковим гравійним фільтром у водоносний горизонт розпочинається з підготовки свердловини: після досягнення проектної глибини проводиться очищення вибою шляхом промивання та видалення шламу. Визначається точне положення водоносного горизонту, в який буде встановлено БГФ.

Далі виконується збірка фільтрової колони разом з БГФ. Вона складається з надфільтрових труб, секцій гравійного фільтра та нижньої заглушки або башмака. У разі потреби використовуються муфти або перехідники для з'єднання. Усі елементи фільтрової колони з'єднуються герметично, із дотриманням вертикальності та міцності.

Фільтрова колона опускається в свердловину на колоні бурильних труб або іншими доступними методами. Спуск виконується поетапно, з нарощуванням труб і контролем за вертикальністю. Свердловина під час спуску залишається заповненою промивальною рідиною для зменшення ризику кольматування та зсувів стінок.

Після досягнення проектної глибини верхня частина фільтрової колони герметично з'єднується з нижнім кінцем обсадної колони. Для цього застосовують різьбові або фланцеві з'єднання, а за необхідності – перехідники, що забезпечують сумісність діаметрів труб.

У кільцевому просторі між фільтровою колоною і стінками свердловини розміщують БГФ, який виконує роль фільтруючої обкладки. Перед цим верхню частину фільтра перекривають конусним перехідником, що запобігає перемішуванню обсіпання.

Висновки до другого розділу

1. У другому розділі системно обґрунтовано застосування блокових гравійних фільтрів для обладнання гідрогеологічних свердловин з урахуванням геологічних, технологічних та економічних чинників. Встановлено, що в умовах пухких пісках, слабозцементованих та гранулометрично неоднорідних

водоносних порід традиційні фільтрувальні системи не забезпечують стабільності роботи свердловин, що обумовлює необхідність застосування альтернативних конструктивно-технологічних рішень.

2. Доведено, що блоковий гравійний фільтр є багатофункціональною системою, яка поєднує механічну стабілізацію прифільтрової зони та ефективну фільтрацію. При цьому реалізується принцип трансформації конструкції: від монолітного стану під час транспортування і монтажу до дисперсної високопористої структури в умовах експлуатації свердловини.

3. Науково обґрунтовано використання біополімерної в'язучої речовини на основі полілактиду (PLA) як матеріалу з керованими розмонолічуваними властивостями. Встановлено, що гідролітична деградація PLA забезпечує поступову втрату міцності зв'язків між зернами гравію, що дозволяє формувати оптимальну порову структуру фільтра без додаткових технологічних операцій у свердловині.

4. Визначено основні фактори, що впливають на ефективність функціонування блокового гравійного фільтра, а саме: масова концентрація PLA, гранулометричний склад гравію, геометричні параметри елементів, а також гідродинамічні умови транспортування й експлуатації. Показано, що їх комплексний облік дозволяє керувати процесами формування фільтраційної структури.

5. Сформульовано вимоги до конструкції блокового гравійного фільтра, які включають забезпечення достатньої механічної міцності на етапі спуску, мінімального гідравлічного опору в процесі експлуатації, стійкості до фізико-хімічних дії та технологічної придатності до монтажу й обслуговування.

6. Обґрунтовано раціональні параметри конструкції фільтра, зокрема вибір гранулометричного складу гравійного матеріалу та геометрії фільтрової колони. Встановлено, що використання гравію фракції 0,5 – 0,75 мм забезпечує оптимальне співвідношення між затриманням частинок водоносної породи та збереженням високої водопровідної здатності фільтра.

7. Розроблено технологічну схему виготовлення блокових гравійних елементів, яка включає підготовку матеріалів, формування композита,

омонолічування, вилучення з форм та контроль якості. Встановлено, що дана технологія забезпечує отримання елементів із необхідними фізико-механічними характеристиками для подальшого транспортування у свердловині .

8. Запропоновано ефективну технологію складання та спуску блокового гравійного фільтра, яка передбачає його монтаж у складі фільтрової колони та доставку до продуктивного горизонту без використання традиційних методів наміву гравійної набивки.

Розділ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА

Розділ присвячений експериментальним дослідженням технології виготовлення біополімерного гравійного елемента (БГЕ) фільтра. Дослідження проведені в лабораторіях НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпровського державного аграрно-економічного університету та ТОВ «Геосинтез інжиніринг».

Метою експериментальних досліджень є дослідження фізико-механічних та гідравлічних властивостей біополімерного гравійного композита (БГК), виконаних робіт для обґрунтування технології його виготовлення [139].

Для виконання поставленої мети вирішено такі завдання:

- визначено фізико-механічні властивості фільтра БГК;
- визначено гідравлічні властивості фільтра БГК.

3.1 Дослідження фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композита

Завданням досліджень є визначення межі міцності на одноосьове стиснення зразків БГК.

Визначення межі міцності на одноосьове стиснення виконувалося в лабораторіях НТУ «Дніпровська політехніка» та Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Дослідження проводили в два етапи:

1. На першому етапі визначали межу міцності на одноосьове стиснення **необводнених** зразків БГК, до складу яких входить гравій (розмір фракції 0,25 – 0,5 мм, 0,5 – 0,75 мм, 1 – 2,5 мм) й в'язучої речовини PLA LX175 з масовою концентрацією PLA 4 %, 8 %, 12 %, 16 %. Біополімерний гравійний композит випробовувався в спресованому кубічному вигляді відповідно до ДСТУ EN 12390-3:2021.

2. На другому етапі визначалася міцність на одноосьове стиснення **обводнених** зразків БГК, до складу яких входить гравій (розмір фракції 0,5 – 0,75 мм) й в'язучої речовини PLA LX175 з масовою концентрацією PLA 4 %, 8 %, 12 %, 16 %. Біополімерний гравійний композит витримувався у водному середовищі +20°C та випробовувався в спресованому кубічному вигляді відповідно до ДСТУ EN 12390-3:2021.

3.1.1 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композита

При випробуванні зразків БГК дотримувалися вимог відповідно до ДСТУ EN 12390-3:2021, згідно з якими БГК виготовлялися кубічної форми зі стороною 50 мм.

Під час експерименту за показаннями манометра вимірювалося максимальне навантаження, при якому відбулося руйнування БГК.

У процесі дослідження (рис. 3.1) визначались такі показники:

1. Середнє арифметичне:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum \tilde{\sigma}_i}{n}, \quad (3.1)$$

де x_i – окремі значення; n – об'єм вибірки.

2. Дисперсія:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.2)$$

3. Стандартне відхилення:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sigma^2} \quad (3.3)$$

4. Коефіцієнт варіації:

$$v = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

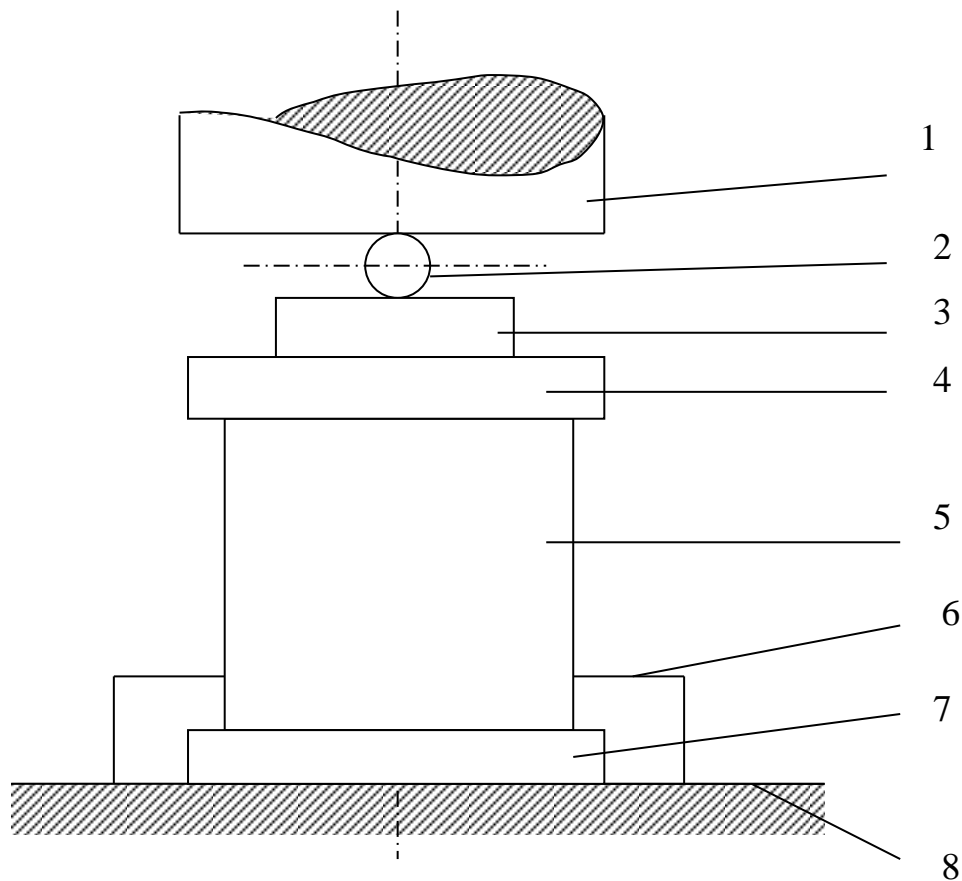


Рисунок 3.1 – Схема установки для випробування зразка БГК:

- 1 – верхня плита преса; 2 – металева куля; 3 – металева опора; 4 – верхня металева пластина для рівномірного розподілу навантаження на зразок;
5 – зразок БГК; 6 – металева коробка для збору зруйнованого зразка; 7 – нижня металева пластина; 8 – нижня опорна плита преса

5. Стандартна помилка середньої похибки середнього арифметичного:

$$m_x = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.5)$$

6. Відносна помилка середнього арифметичного:

$$\rho = \frac{m_x}{x} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

7. Можливе відхилення середньої похибки:

$$\varepsilon = t_\alpha \cdot m_x, \quad (3.7)$$

де t_α – коефіцієнт Стюдента.

Методика визначення часу розмонолічування зразків БГК:

1. Підготувати зразки БГК до випробування на стенді (рис. 3.2).
2. Провести вимірювання маси зразків БГК перед зануренням у водне середовище 2.
3. Занурити зразки БГК у водне середовище.
4. Витримати зразки БГК у водному середовищі протягом 30 хв, 60 хв, 90 хв та 120 хв при $t_6 = +20^\circ\text{C}$.
5. Вийняти зразки з водного середовища та визначити масу зразків БГК.
6. Визначити зменшення межі міцності на одноосьове стиснення на стенді (3.1).
7. Результати дослідів обробляють і заносять в журнал.

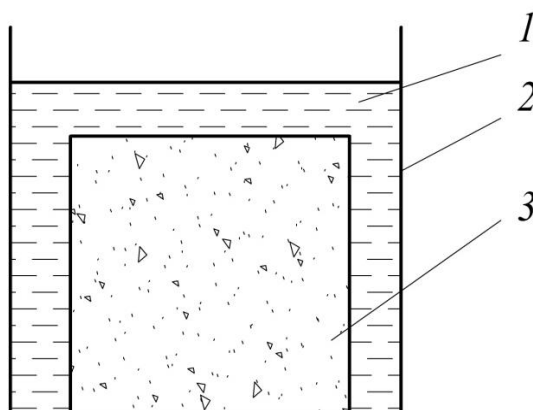


Рисунок 3.2 – Схема стенда дослідження обводнених зразків БГК:

1 – водне середовище; 2 – ємність для води; 3 – зразок БГК

Температура води (+20°C) наближена до реальних умов під час експлуатації блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин на глибині до 500 м (для Дніпровського району).

3.1.2 Результати дослідження фізико-механічних властивостей біополімерного гравійного композита

На першому етапі дослідження було виявлено, що біополімерний гравійний композит достатньо міцний для виготовлення біополімерного гравійного елемента фільтра.

Експеримент показав, що зразки БГК міцні, а процес їх формування повністю контрольований та стабільний. У процесі нагрівання полімер добре змочує поверхню гравію, а після охолодження утворює просторову сітку, яка зв'язує частинки в єдиний моноліт. Така структура визначає подальші механічні властивості композита.

Візуальні спостереження показали, що всі зразки БГК мають однорідну структуру та рівномірний розподіл гравію в полімерній матриці (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд експериментальних кубічних зразків біополімерного гравійного композита

Мікроскопічний аналіз при збільшенні $\times 15$ (рис. 3.4) підтвердив наявність щільного контакту між зернами гравію та шаром PLA, що утворює міцні міжфазні з'єднання.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд експериментального кубічного зразка біополімерного гравійного композита, збільшеного у 15 разів

За результатами першого етапу визначено межу міцності на одноосьове стиснення **необводнених зразків БГК** (табл. 3.1):

– зразки БГК при масовій концентрації PLA 4 – 16 % з розміром фракції гравію 0,25 – 0,5 мм – межа міцності становить від 17,05 МПа до 72,74 МПа;

– зразки БГК при масовій концентрації PLA 4 – 16 % з розміром фракції гравію 0,5 – 0,75 мм – межа міцності становить від 13,6 МПа до 65,95 МПа;

– зразки БГК при масовій концентрації PLA 4 – 16 % з розміром фракції гравію 1 – 2,5 мм – межа міцності становить від 6,77 МПа до 49,34 МПа.

Межа міцності на стиснення БГК після охолодження їх при кімнатній температурі становить $+20^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 3.1 – Результати першого етапу досліджень **необводнених** зразків БГК

Масова концентрація PLA, %	Розмір фракції гравію, мм	Межа міцності на стиснення, МПа	Середня межа міцності, МПа	Коефіцієнт варіації, %
4	1 – 2,5	6,69	6,77	34,6
		8,21		
		8,85		
		7,28		
		2,81		
8		18,82	17,08	28,2
		18,67		
		15,21		
		10,46		
		22,23		
12		27,68	32,93	15,6
		34,32		
		30,64		
		30,76		
		41,24		
16	52,28	49,34	7,7	
	51,60			
	45,23			
	52,92			
	44,69			
4	0,5 – 0,75	18,22	13,60	27,7
		13,26		
		16,41		
		8,89		
		11,21		
8		34,41	33,98	10,4
		34,11		
		28,48		
		39,26		
		33,62		
12		65,80	49,21	37,0
		25,52		
		68,24		
		52,23		
		34,24		

16		55,08	65,95	24,0
		87,76		
		47,68		
		72,56		
		66,68		
4		16,65	17,05	17,7
		19,18		
		11,82		
		18,91		
		18,68		
8	0,25 – 0,5	31,83	31,16	8,3
		27,21		
		32,87		
		30,24		
		33,67		
12		44,96	49,94	11,5
		48,64		
		50,60		
		59,12		
		46,40		
16		72,72	72,74	3,4
		71,40		
		76,32		
		73,68		
		69,6		

Як впливає з таблиці 3.1, БГК, що містить в якості в'язучої речовини PLA, межа міцності на одноосьове стиснення збільшується зі збільшенням масової концентрації PLA. Але при збільшенні розміру частинок гравію міцність БГК зменшується на 30 %.

Випробування на одноосьове стиснення показали чітку залежність міцності зразків від масової частки PLA (рис. 3.5). Зі зростанням вмісту полімеру від 4 % до 16 % межа міцності підвищується майже у п'ять разів, що пов'язано зі збільшенням кількості зв'язуючих структур у матеріалі. Найвищі значення міцності спостерігалися для зразків із 16 % PLA, де полімерна фаза утворює суцільний зв'язок між частинками гравію.

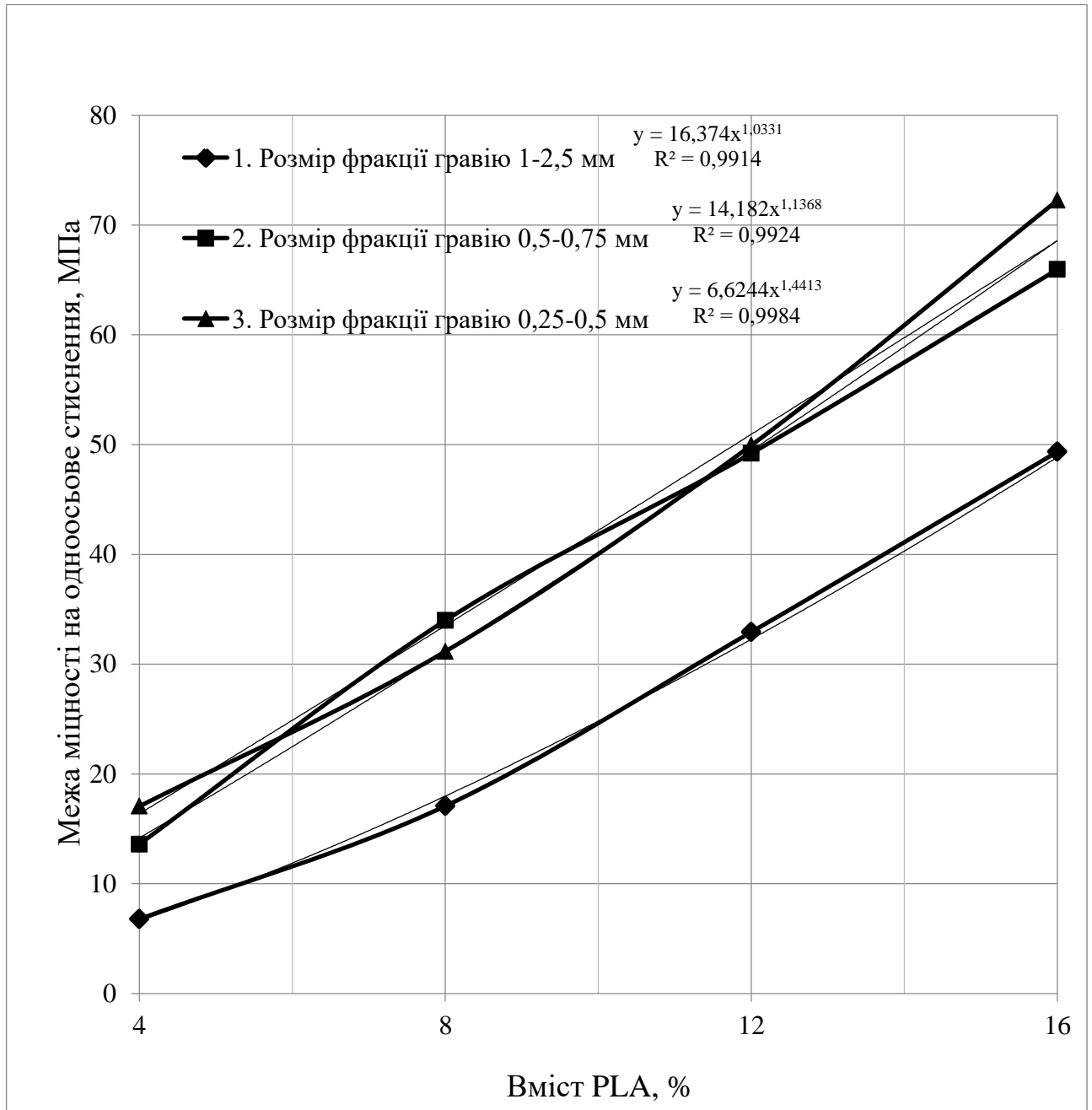


Рисунок 3.5 – Залежність межі міцності на стиснення **необводнених** кубічних зразків БГК від вмісту PLA

За результатами першого етапу було прийнято рішення досліджувати більше БГК з розміром гравію 0,5 – 0,75 мм, оскільки цей розмір використовується для приготування блокових гравійних фільтрів.

На другому етапі досліджень встановлено закономірність зміни фізико-механічних властивостей **обводнених** зразків БГК залежно від масової концентрації PLA, умов теплообміну та густини зразків.

За результатами табл. 3.2, 3.3 встановлено, що найбільшу міцність мають зразки біополімерного гравійного композита з масовою концентрацією PLA 12 – 16 %. При цьому в процесі розмонолічування зразків БГК у водному середовищі відбувається зменшення їхньої міцності на 3,6 – 78 %.

Таблиця 3.2 – Результати другого етапу досліджень **обводнених** зразків БГК

Масова концентрація PLA, %	Розмір фракції гравію, мм	Час витримки при $t_e=+20^{\circ}\text{C}$, хв	Межа міцності на стиснення, МПа	Середня межа міцності, МПа	Коефіцієнт варіації, %
4	0,5 – 0,75	30	4,21	5,12	25,4
			3,63		
			7,01		
			5,68		
			5,07		
8			12,69	14,09	14,8
			15,23		
			11,11		
			15,18		
			16,24		
12			37,12	34,86	19,0
			35,32		
			43,08		
			24,52		
			34,28		
16			60,72	63,55	4,6
	65,52				
	62,80				
	67,64				
	61,08				
4	7,21	4	43,8		
	3,07				
	3,81				
	2,49				
	3,42				

8	0,5 – 0,75	60	10,67	13,48	18,9			
			11,19					
			16,49					
			15,43					
			13,62					
12		30,72	60	27,24	31,09	13,6		
				39,80				
				29,12				
				28,60				
				62,84				
16		62,20	60	63,96	62,05	5,8		
				65,36				
				55,92				
				4,06			3,52	39,4
				3,67				
5,61								
2,24								
2,05								
8	0,5 – 0,75	90	12,43	11,52	17,1			
			10,41					
			10,24					
			11,08					
			13,44					
12		28,68	90	33,36	29,36	9,3		
				32,88				
				35,96				
				29,92				
				55,32				
16		65,60	90	58,56	59,88	6,4		
				60,36				
				59,56				
				4,48			3,01	33,8
				2,06				
3,24								
3,26								
2,01								

8	0,5 – 0,75	120	6,81	10,98	38,4
			7,04		
			13,92		
			16,08		
			11,08		
12			28,12	28,84	22,5
			37,72		
			45,48		
			26,84		
			39,08		
16			56,60	58,12	2,1
			58,20		
			57,08		
			59,12		
			59,64		

Таблиця 3.3 – Результати досліджених **обводнених** зразків БГК

Масова концентрація PLA, %	Розмір фракції гравію, мм	Час витримки при $t_{\theta}=+20^{\circ}\text{C}$, хв	Маса не обводненого зразка БГК, г	Маса обводненого зразка БГК водою, г	Середня маса води у зразках БГК $t_{\theta}=+20^{\circ}\text{C}$, г
4	0,5– 0,75	30	233,24	242,32	8,94
			238,55	247,68	
			232,92	241,75	
			242,26	253,69	
			237,25	243,49	
8			240,95	246,43	6,84
			245,83	252,75	
			246,52	253,96	
			245,50	253,16	
			245,59	252,30	
12			261,08	264,66	4,1
			255,67	259,21	
			259,98	263,08	
			255,92	260,40	
			261,71	267,54	

16			264,76	267,75	4,16
			263,59	268,68	
			260,95	265,30	
			265,39	269,70	
			262,54	266,61	
4	0,5–0,75	60	237,80	245,79	9,71
			230,12	240,11	
			234,20	243,54	
			240,01	250,39	
			237,30	248,18	
8	0,5–0,75	60	245,29	251,48	8,53
			248,55	257,55	
			244,26	252,20	
			240,23	250,22	
			245,51	255,04	
12	0,5–0,75	60	241,61	248,39	5,86
			245,75	254,04	
			261,94	263,15	
			246,76	254,26	
			251,91	257,45	
16	0,5–0,75	60	275,06	279,39	4,44
			262,67	267,83	
			261,89	265,57	
			267,66	272,41	
			277,35	281,67	
4	0,5–0,75	90	239,04	246,28	10,29
			230,75	238,91	
			242,18	250,05	
			229,01	243,16	
			234,55	248,61	
8	0,5–0,75	90	240,82	250,35	9,47
			239,33	246,87	
			244,48	258,16	
			239,48	246,90	
			239,51	248,72	
12	0,5–0,75	90	251,88	256,58	5,87
			251,63	259,21	
			257,52	262,82	
			256,62	262,46	
			253,95	259,92	

16			264,35	268,91	4,48
			255,46	259,53	
			268,55	273,54	
			269,96	273,25	
			267,52	273,04	
4	0,5–0,75	120	232,74	243,67	10,69
			239,72	250,68	
			231,71	242,25	
			230,04	239,92	
			243,72	254,9	
8	0,5–0,75	120	239,31	247,34	9,74
			248,77	258,85	
			240,33	248,89	
			256,41	265,78	
			232,92	245,6	
12	0,5–0,75	120	253,21	263,52	7,59
			252,97	258,88	
			257,08	264,72	
			255,46	263,62	
			263,74	269,68	
16	0,5–0,75	120	262,51	266,59	4,60
			262,02	266,13	
			258,16	262,35	
			277,60	281,47	
			264,16	270,94	

Дослідження впливу водного середовища показали, що після занурення зразків БГК (рис. 3.6) у воду на 30 – 120 хв відбувається поступове зниження міцності, особливо у композитів із низьким вмістом PLA (4 – 8 %) (рис. 3.7). Втрата міцності обумовлена частковим розм'якшенням полімерної матриці та початком гідролітичної деградації PLA. Водночас для зразків із 16 % PLA зміна мінімальна – вода практично не проникає в структуру через високу насиченість полімером. Це підтверджує, що при підвищеному вмісті PLA БГК має збільшену водостійкість, але може втратити фільтраційні властивості.



Рисунок 3.6 – Обводнення зразків БГК

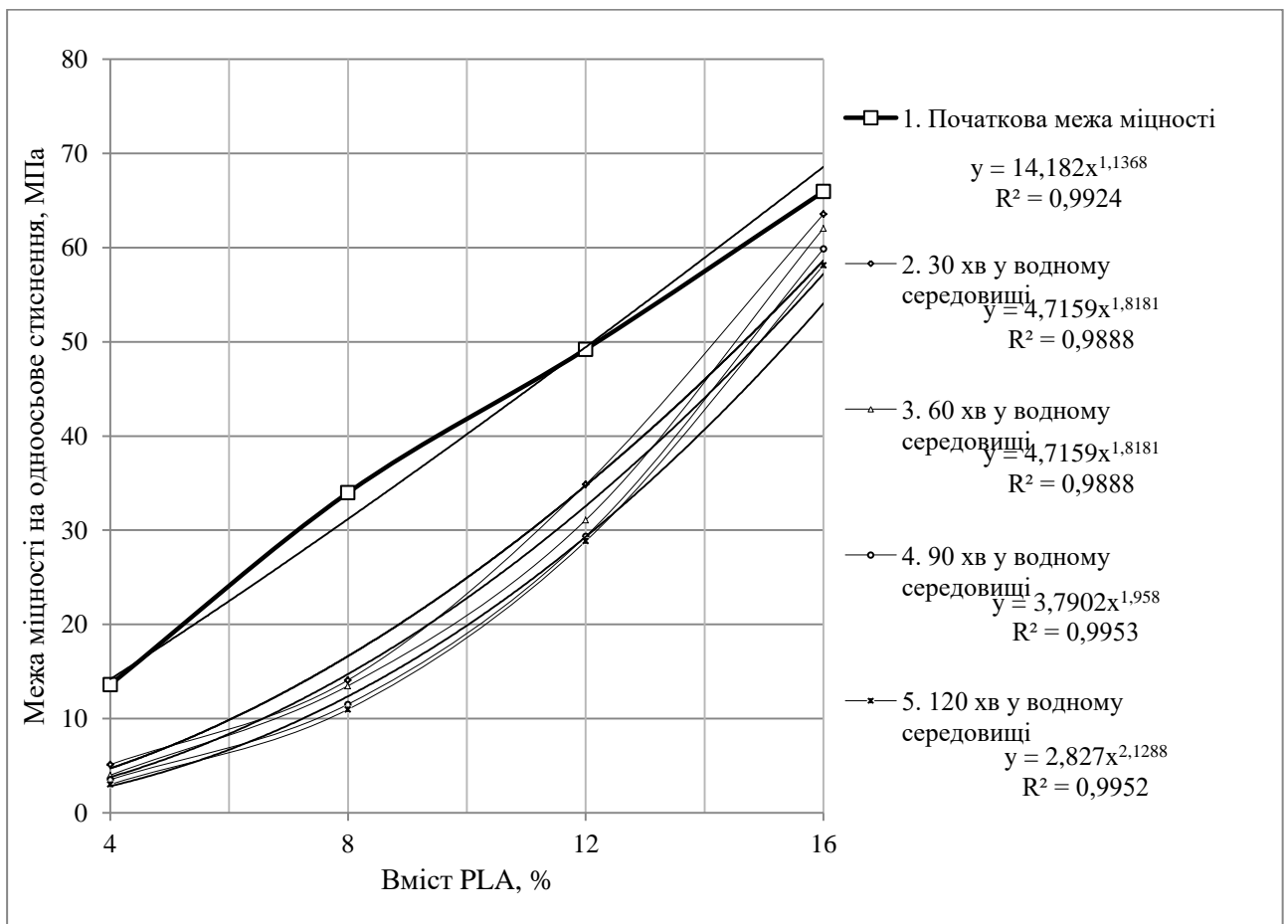


Рисунок 3.7 – Залежність межі міцності на стиснення **обводнених** кубічних зразків БГК від вмісту PLA

Залежність між вмістом PLA і зниженням межі міцності після занурення у воду наведена у таблиці 3.4, з якої видно, що зразки з низьким вмістом полімеру втрачають до 70 – 80 % початкової міцності, тоді як при 16 % – лише до 11,87%.

Таблиця 3.4 - Зниження індексу одноосьової міцності на стиснення (у %) експериментальних БГК після впливу водного середовища

№ п/п	Вміст PLA, %	Водостійкість, хв			
		30	60	90	120
1	4	62	71	74	78
2	8	59	60	66	68
3	12	29	37	40,3	41,4
4	16	3,64	5,91	9,2	11,87

При дослідженні обводнених зразків БГК спостерігається вплив водного середовища на їх фізико-механічні властивості. Тривалий контакт з водою призводить до зміни структури композита і зниження його міцнісних характеристик. У зв'язку з цим важливе експериментальне дослідження втрати міцності і процесів водопоглинання залежно від вмісту біополімерної в'язучої речовини PLA.

Для аналізу впливу водного середовища були побудовані дві групи залежностей:

- залежність логарифму відносної міцності від часу витримки БГК у водному середовищі (рис. 3.8);
- залежність об'єму води, поглиненої композитом, від вмісту PLA при різному часі витримки у воді (рис. 3.9).

На першому етапі було проаналізовано зміну відносної міцності зразків композита з різним вмістом PLA (4 %, 8 %, 12% та 16 %) при витримці у водному середовищі за температури +20°C. Для зручності інтерпретації експериментальних даних використано логарифмічну форму подання результатів у вигляді $\ln(n)$, де n – відносна міцність матеріалу порівняно з початковим станом.

Отримані залежності свідчать, що для складів з вмістом PLA 4 % та 8 %, спостерігається монотонне зменшення значення $\ln(n)$ зі збільшенням часу перебування у водному середовищі. Це означає, що у цих матеріалах відбувається поступова втрата міцності, причому швидкість втрати цієї міцності є відносно високою. Фактично, вже на інтервалі 120 хв витримки у воді втрата міцності стає суттєвою, що вказує на недостатню водостійкість композитів з малим вмістом біополімерної в'язучої речовини.

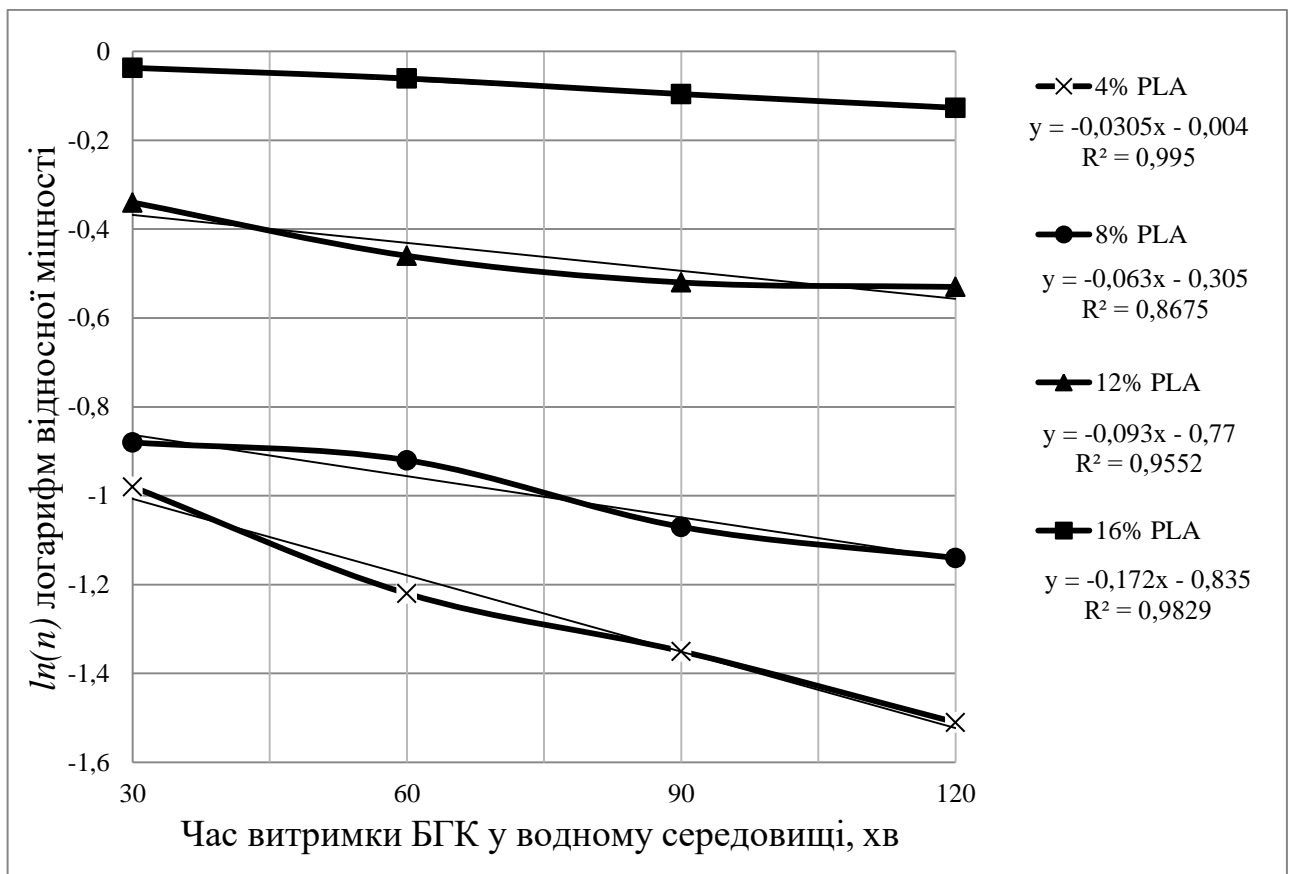


Рисунок 3.8 – Залежність логарифму відносної міцності від часу витримки БГК у водному середовищі

Для зразків з вмістом PLA 12 % характер зміни $\ln(n)$ істотно відрізняється. Хоча певне зниження міцності з часом також спостерігається, воно має значно менш виражений характер, а крива деградації наближається до квазістабільного стану. Це свідчить про підвищену стійкість структури композиту до дії водного середовища та про сповільнення процесів руйнування міжзернових контактів.

Найбільш стабільну поведінку демонструють зразки з вмістом PLA 16 %. Для них значення $ln(n)$ упродовж усього досліджуваного інтервалу часу змінюється незначно, що вказує на практичну відсутність швидкої втрати міцності. Підвищення вмісту PLA призводить до формування більш зв'язаної та стійкої структури композита, яка ефективніше протидіє руйнівній дії водного середовища.

Фізично це можна пояснити тим, що біополімер PLA виконує роль в'язучої фази, яка ущільнює структуру композита, зменшує кількість відкритих пор і капілярних каналів та підвищує адгезію між зернами гравію. Внаслідок цього зменшується швидкість проникнення води у внутрішній об'єм матеріалу та, відповідно, сповільнюються процеси деградації міцності.

Аналіз залежності об'єму води, що поглинається біополімерним гравійним композитом, від вмісту PLA за різного часу перебування у водному середовищі (30 хв, 60 хв, 90 хв та 120 хв) наведено на рис. 3.9.

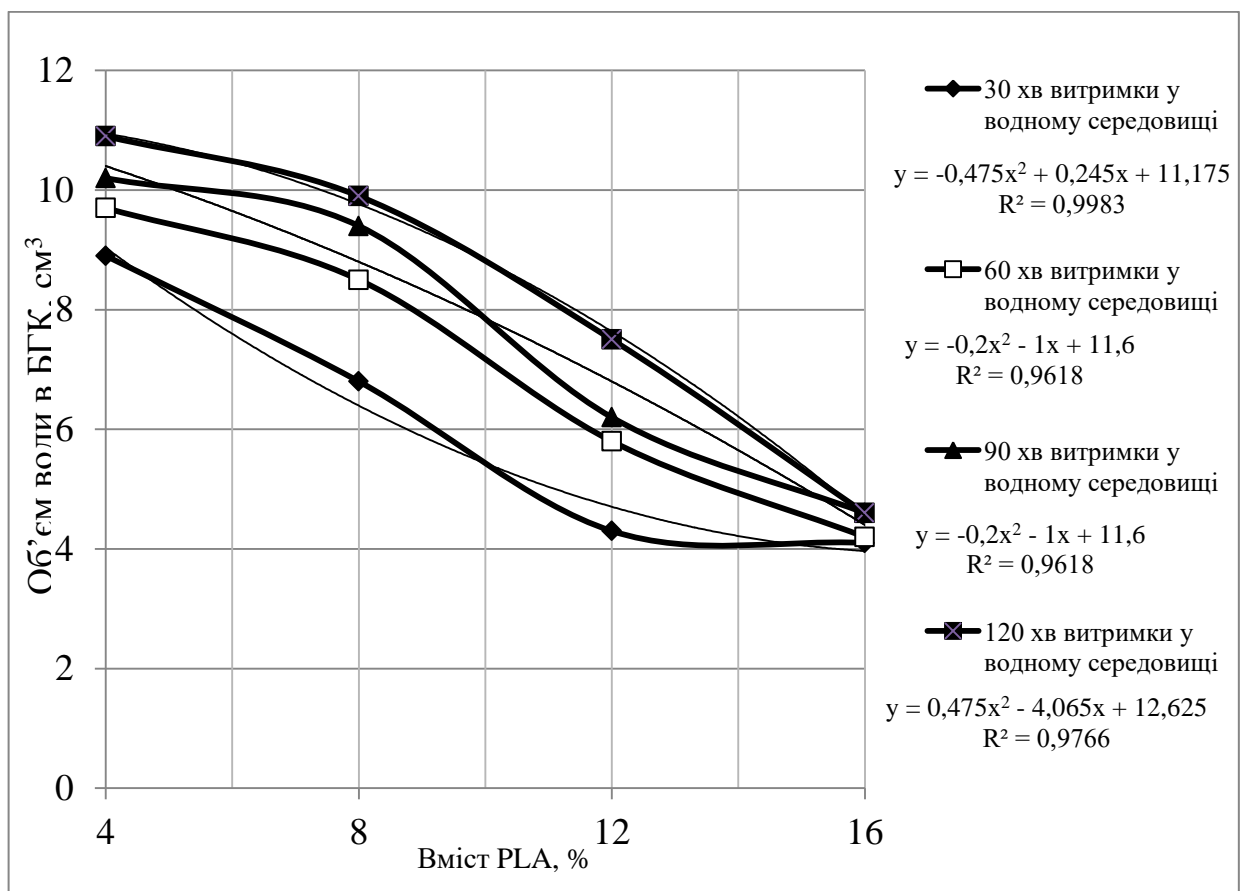


Рисунок 3.9 – Залежність об'єму води в БГК від вмісту PLA за різного часу перебування у водному середовищі

Отримані експериментальні криві показують, що для всіх досліджуваних часових інтервалів зі збільшенням вмісту PLA об'єм поглинутої води монотонно зменшується. Так, зразки з 4 % PLA характеризуються максимальним водопоглинанням, тоді як для складів з 16 % PLA об'єм поглинутої води є мінімальним.

Водночас зі збільшенням часу витримки у водному середовищі для кожного складу спостерігається зростання об'єму поглинутої води, що є закономірним наслідком дифузійних процесів проникнення рідини у поровий простір матеріалу. Проте навіть за найбільшої тривалості витримки (120 хв) різниця між зразками з низьким і високим вмістом PLA залишається суттєвою, що підкреслює визначальну роль біополімерної в'язучої фази у формуванні водостійких властивостей композита.

Зменшення водопоглинання зі збільшенням вмісту PLA можна пояснити зниженням відкритої пористості та покращенням герметизації міжзернового простору. Біополімер заповнює частину пор та мікротріщин, ускладнюючи проникнення води всередину матеріалу та зменшуючи загальний об'єм рідини, що може бути адсорбований або акумульований у структурі композита.

Порівняльний аналіз двох розглянутих залежностей (рис. 3.8 та 3.9) – кінетики деградації міцності та водопоглинання – дозволяє встановити їхній безпосередній взаємозв'язок. Зокрема, для складів з малим вмістом PLA (4 – 8 %) спостерігається як підвищене водопоглинання, так і більш інтенсивна втрата міцності у часі. Навпаки, для зразків з підвищеним вмістом PLA (12 – 16 %) характерними є зменшене поглинання води та істотно вища стабільність міцнісних характеристик.

Можна зробити висновок, що деградація міцності біополімерного гравійного композита у водному середовищі є процесом, тісно пов'язаним з інтенсивністю проникнення води у внутрішню структуру матеріалу. Вміст PLA виступає визначальним керуючим параметром, який одночасно впливає як на водопоглинання, так і на швидкість процесів руйнування полімеру.

3.2 Дослідження гідравлічних властивостей біополімерного гравійного композита

Завданням дослідження є визначення гідравлічних властивостей БГК.

Визначення коефіцієнта пористості та проникності проводилися в лабораторії ТОВ «Геосинтез інженіринг» [140], [141].

Дослідження проводили в три етапи:

1. На першому етапі визначали коефіцієнт пористості циліндричних зразків БГК (розмір циліндра: висота – 30 мм, діаметр – 38 мм), до складу яких входить гравій (розмір фракції 0,5 – 0,75 мм) і PLA з масовою концентрацією 4 %, 8 %, 12 %, 16 %.

2. На другому етапі визначали проникність циліндричних зразків БГК (розмір циліндра: висота – 30 мм, діаметр – 38 мм), до складу яких входить гравій (розмір фракції 0,5 – 0,75 мм) і PLA з масовою концентрацією 4 %, 8 %, 12 %, 16 %.

3. На третьому етапі визначали коефіцієнт фільтрації циліндричних зразків БГК (розмір циліндра: висота – 35 мм, діаметр – 55 мм), до складу яких входить гравій (розмір фракції 0,5 – 0,75 мм) і PLA з масовою концентрацією 4 %, 8 %, 12 %, 16 %.

3.2.1 Методика гідравлічних досліджень біополімерного гравійного композита для першого етапу

1. Підготувати зразки БГК (рис. 3.10) до випробування на стенді DCI test systems helium porosimeter (рис. 3.11);



Рисунок 3.10 – Фотографія підготовлених циліндричних зразків БГК



Рисунок 3.11 – Фотографія стенда DCI test systems helium porosimeter дослідження коефіцієнта пористості ($K_{пор}$) циліндричного зразка БГК

2. Провести вимірювання довжини циліндричного зразка БГК перед встановленням його у стенд та задати розміри циліндра у програмному забезпеченні стенда рис. 3.12.

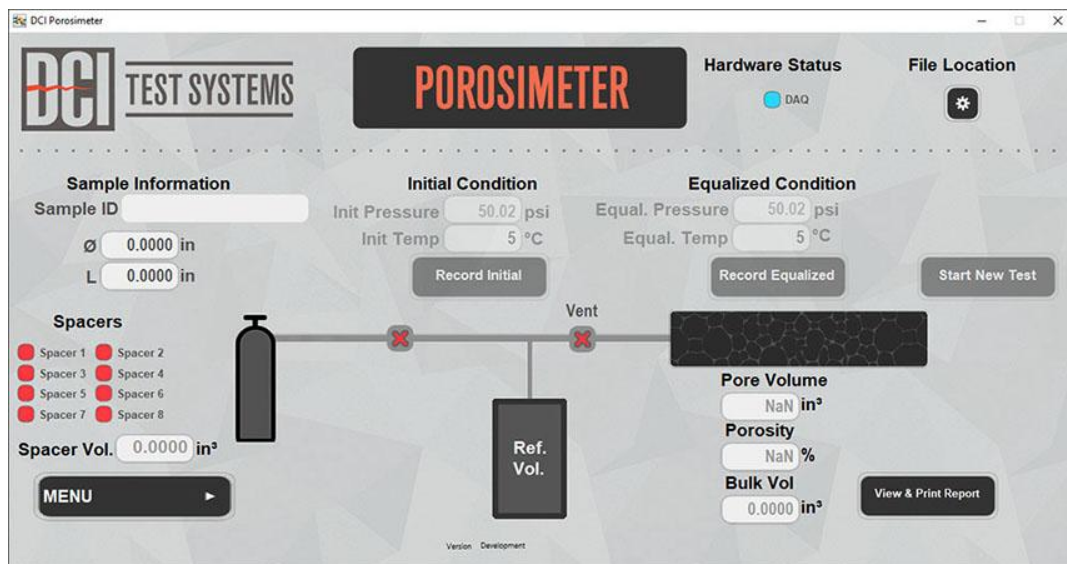


Рисунок 3.12 – Фотографія програмного забезпечення стенда DCI test systems helium porosimeter

3. Встановити циліндричний зразок БГК у стенд DCI test systems helium porosimeter.

4. На стенді включити подачу повітряного гелію та розпочати вимірювання.

5. Зафіксувати коефіцієнт пористості.

3.2.2 Методика лабораторних фільтраційних досліджень властивостей біополімерного гравійного композита для другого етапу

1. Підготувати зразки БГК (рис. 3.13) до випробування на стенді DCI test systems Core Flood System.

2. Провести вимірювання довжини циліндричного зразка БГК перед встановленням його у стенд та задати розміри циліндра у програмному забезпеченні стенда (рис. 3.14).

3. Встановити циліндричний зразок БГК у стенд DCI test systems Core Flood System.

4. На стенді включити подачу рідини та розпочати вимірювання.

5. Зафіксувати проникність.



Рисунок 3.13 – Фотографія зі стендових досліджень зразків БГК на проникність

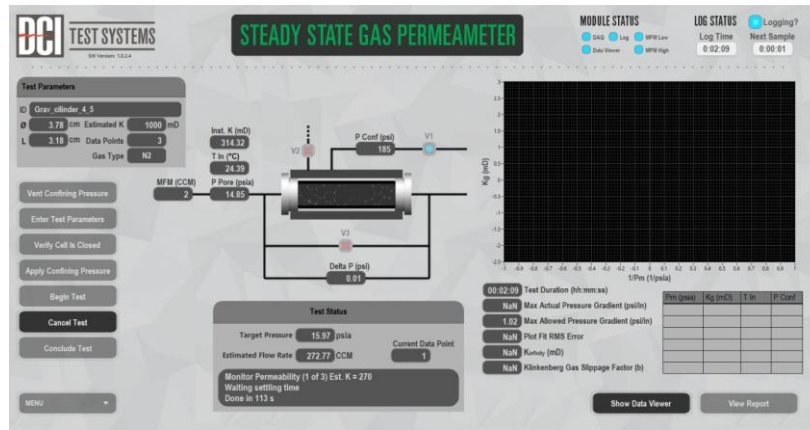


Рисунок 3.14 – Фотографія програмного забезпечення стенда DCI test systems Core Flood System

3.2.3 Методика лабораторних фільтраційних досліджень властивостей біополімерного гравійного композита для третього етапу

Коефіцієнт фільтрації БГК визначали експериментально за допомогою універсальної трубки коефіцієнта фільтрації КФ.

Послідовність дій досліджень БГК за допомогою універсальної трубки КФ (рис. 3.15):

1. Заповнити ріжучий циліндр піском і після встановлення металеві сітки закрити кришкою.
2. Встановити телескопічне пристосування на позначку 0,6 (що відповідає гідравлічному градієнту 0,6) і опустити всередину ріжучий циліндр з БГК.
3. Налити у скляний мірний циліндр (сосуд Маріотта) воду і обережно встановити його отвором вниз на сітку. Для забезпечення водонасичення піску дослід розпочинають через 2 – 5 хв після того, як до мірного циліндра почнуть прориватись бульбашки повітря. Мірний циліндр періодично поповнюють водою.
4. Визначити час, коли за шкалою мірного циліндра профільтрується $25 - 50 \text{ cm}^3$ води. Для градієнта $I = 0,6$ дослід повторюють сім разів для кожного зразка БГК, а результати заносять в таблицю.
5. Коефіцієнт фільтрації при заданій температурі води t визначають за формулою

$$k_f = \frac{864 \cdot Q}{T \cdot A \cdot I}, \text{ м/добу} \quad (3.8)$$

де Q – об'єм води, яка профільтрувалася за час T , см³;

864 – розмірний коефіцієнт для переведення k_f з см/с до м/добу;

T – час фільтрації; A – площа перерізу ріжучого циліндра, $A = 25 \text{ см}^2$;

I – гідравлічний градієнт.

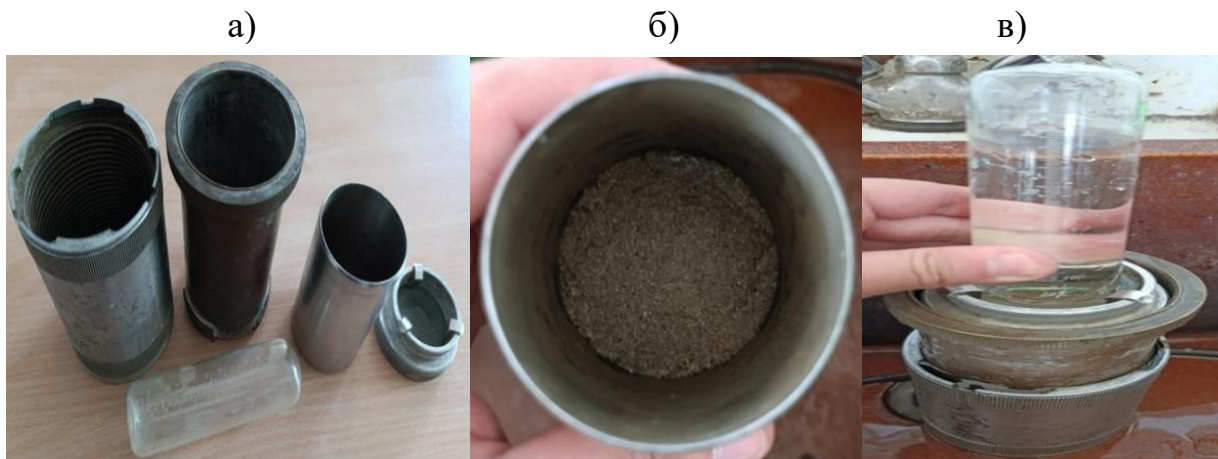


Рисунок 3.15 – Визначення коефіцієнта фільтрації за допомогою універсальної трубки КФ: а – зовнішній вигляд універсальної трубки КФ; б – вигляд зразка в трубці КФ; в – випробування зразка за допомогою універсальної трубки КФ

3.2.3.1 Результати гідравлічних досліджень властивостей біополімерного гравійного композита

За результатами випробувань (табл. 3.5) на стендах DCI біополімерних гравійних композитів (БГК) з різним вмістом PLA (4 %, 8%, 12% та 16 %) встановлено суттєвий вплив вмісту в'язучої речовини PLA на фільтраційні характеристики зразків БГК.

Геометричні параметри зразків (довжина та діаметр) у всьому діапазоні вмісту PLA змінюються незначно. Середні значення довжини БГК становлять 31,7 – 32,3 мм, а діаметр у всіх серіях зразків залишається сталим і дорівнює 38 мм.

Таблиця 3.5 – Результати гідралічних досліджень БГК у лабораторії ТОВ «Геосинтез Інжиніринг»

Вміст PLA, %	Параметр	Номер зразка						Середнє значення
		1	2	3	4	5	6	
4%	Довжина БГК, мм	31,49	31,49	31,75	32,00	31,75	31,75	31,7
	Діаметр БГК, мм	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
	Об'єм пор БГК, мм ³	9848,62	9832,24	9996,10	10979,3 3	9832,24	9832,24	10053,46
	Коефіцієнт пористості БГК, %	27,80	27,6	28,3	30,37	27,8	27,88	28,2917
	Проникність, мД	1907 дуже висока проникність						
8%	Довжина БГК, мм	32,76	32,76	32,51	33,52	31,49	31,49	32,25
	Діаметр БГК, мм	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
	Об'єм пор БГК, мм ³	8029,66	8357,40	8029,66	7210,30	6882,56	7210,30	7619,98
	Коефіцієнт пористості БГК, %	21,75	22,58	22,23	20,1	19,53	20,27	21,0767
	Проникність, мД	1502 дуже висока проникність						
12%	Довжина БГК, мм	32,00	32,00	32,51	33,27	32,76	29,71	32,00
	Діаметр БГК, мм	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
	Об'єм пор БГК, мм ³	5899,34	4424,50	3605,15	4096,76	5079,99	4588,37	4614,59
	Коефіцієнт пористості БГК, %	16,50	12,31	10,02	11,12	14,00	13,71	12,9433
	Проникність, мД	784 висока проникність						
16%	Довжина БГК, мм	31,75	31,49	31,49	32,25	32,00	32,25	31,87
	Діаметр БГК, мм	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
	Об'єм пор БГК, мм ³	360,51	2458,06	1147,09	1884,51	278,58	1655,09	1294,57
	Коефіцієнт пористості БГК, %	1,00	7,04	3,35	5,21	0,77	4,56	3,655
	Проникність, мД	1,92 низька проникність						

Зі збільшенням вмісту PLA спостерігається різке зменшення об'єму пор та коефіцієнта пористості БГК. Для складу з 4 % PLA середній об'єм пор становить до 10053 мм³, а коефіцієнт пористості – до 28,3 %. При збільшенні вмісту PLA до 8 % ці показники зменшуються приблизно до 7620 мм³ та 21,1 %. Для складу з 12 % PLA середній об'єм пор знижується до 4615 мм³, а пористість – до 12,9 %. Найбільш різке ущільнення структури спостерігається при 16 % PLA: середній об'єм пор становить майже 1295 мм³, а коефіцієнт пористості зменшується приблизно до 3,7 %. Це свідчить про поступове заповнення міжзернового простору гравію біополімерною в'язучою речовиною PLA та формування більш щільної, малопористої структури БГК.

Зміна гідравлічних характеристик безпосередньо відображається на проникності матеріалу. Для зразків із 4 % PLA проникність становить до 1907 мД, що відповідає дуже високій проникності. При 8 % PLA проникність знижується приблизно до 1502 мД, однак також залишається у діапазоні дуже високих значень. Для складу з 12 % PLA проникність становить до 784 мД, що відповідає високій, але вже помітно нижчій фільтраційній здатності. При збільшенні вмісту PLA до 16 % відбувається різке падіння проникності приблизно до 1,9 мД, що характеризує матеріал як низькопроникний.

Результати досліджень на стендах DCI показують наявність вираженої нелінійної залежності між вмістом PLA та фільтраційними властивостями БГК. У діапазоні 4 – 8 % PLA матеріал зберігає високу пористість і дуже високу проникність, що є сприятливим для застосування у фільтрувальних елементах свердловин. При 12 % PLA спостерігається компроміс між ущільненням структури та збереженням достатньої проникності. Натомість подальше збільшення вмісту PLA до 16 % призводить до різкого “закупорювання” порового простору та втрати фільтраційних властивостей, що робить такий склад непридатним для використання як фільтрувального матеріалу.

За результатами досліджень за допомогою універсальної трубки КФ побудовано графік (рис. 3.16) залежності коефіцієнта при гідравлічному градієнті $I=0,6$. Для всіх досліджуваних серій зразків спостерігається монотонне зростання значень коефіцієнта фільтрації.

Найбільші значення коефіцієнта фільтрації характерні для зразків БГК з вмістом PLA 4 %, що свідчить про більш розвинену порову структуру та підвищену водопроникність матеріалу. При цьому після початкового зростання спостерігається поступове зменшення приросту, що вказує на встановлення квазістаціонарного режиму фільтрації.

Для зразків БГК з вмістом PLA 8 % значення коефіцієнта фільтрації є меншими порівняно зі зразками БГК з вмістом PLA 4 %, однак зберігається аналогічний характер зміни – плавне зростання з подальшою стабілізацією.

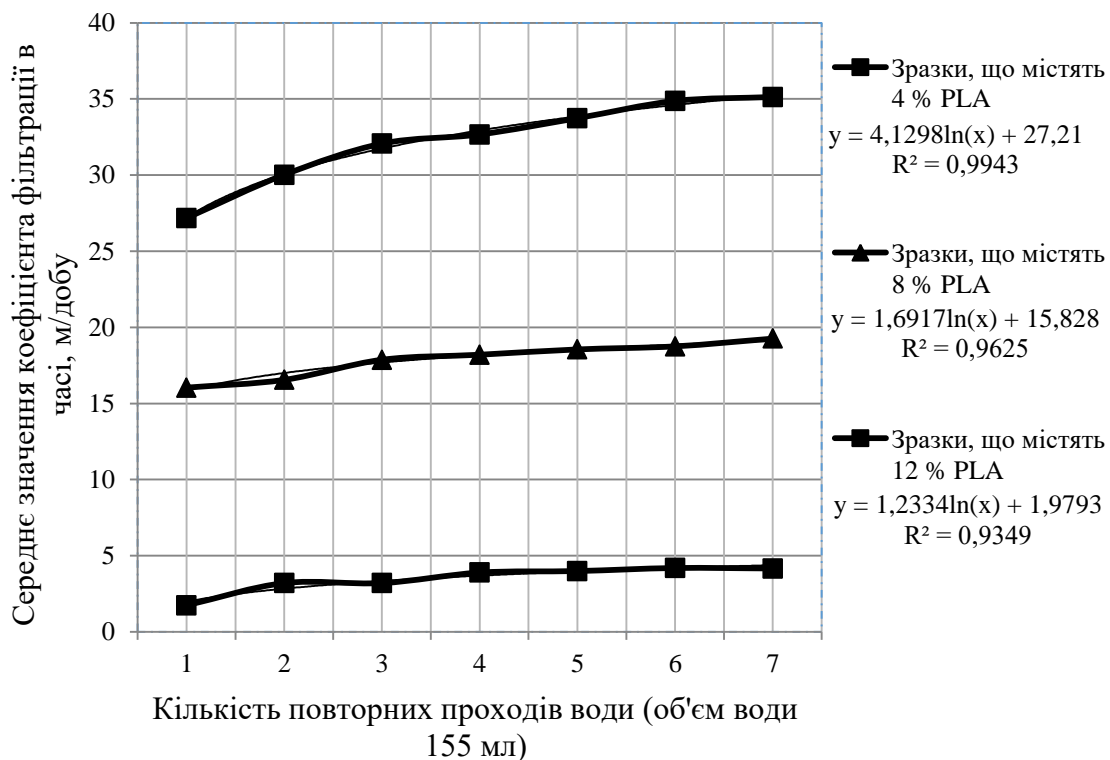


Рисунок 3.16 – Залежність коефіцієнта фільтрації циліндричних зразків біополімерного гравійного композита від об'єму пропущеної води в часі

Зразки БГК з вмістом PLA 12 % характеризуються низькими значеннями коефіцієнта фільтрації та незначною зміною у процесі вимірювань. Це свідчить про високу структурну стабільність БГК та мінімальну перебудову фільтраційних каналів у процесі експерименту.

Зразки БГК з вмістом PLA 16 % не були внесені на графік (рис. 3.16), оскільки їх коефіцієнт фільтрації становив лише 0,1 м/добу, що є значно

меншим порівняно з іншими досліджуваними серіями та не дозволяло коректно відобразити результати на загальному графіку.

Результати підтверджують, що при гідравлічному градієнті $I=0,6$ фільтраційні властивості БГК змінюються плавно, без різких стрибків, що вказує на відсутність руйнування або вимивання структури матеріалу в процесі досліджень. Проведені дослідження за допомогою універсальної трубки дозволяє зробити висновок що PLA поступово руйнується у водному середовищі збільшуючи коефіцієнт фільтрації.

Висновки до третього розділу

1. У третьому розділі виконано комплексні експериментальні дослідження фізико-механічних та гідравлічних властивостей біополімерного гравійного композита на основі PLA LX175, що дозволило встановити закономірності формування структури й експлуатаційних характеристик матеріалу залежно від його складу та умов водонасичення.

2. Експериментально встановлено, що межа міцності композита на одноосьове стиснення зростає зі збільшенням масової концентрації PLA від 4 % до 16 % у 3 – 5 разів, що обумовлено формуванням більш розвиненої полімерної зв'язуючої структури між зернами гравію. Водночас збільшення розміру фракції гравію призводить до зниження міцності до 30 % через зменшення площі міжзернових контактів.

3. Доведено, що вплив водного середовища є визначальним фактором зміни міцнісних характеристик композита. Встановлено, що для складів з 4 – 8 % PLA втрата міцності досягає 60 – 80 % протягом 120 хв, тоді як для складів з 12 – 16 % PLA зниження міцності обмежується 3 – 40 %, що свідчить про різну інтенсивність процесів розмонолічування матеріалу .

4. На основі аналізу залежності логарифму відносної міцності $ln(n)$ встановлено, що процес руйнування структури композиту у водному середовищі має експоненціальний характер і визначається швидкістю

проникнення води у поровий простір матеріалу. При цьому збільшення вмісту PLA призводить до істотного сповільнення втрати міцності.

5. Експериментально підтверджено тісний взаємозв'язок між водопоглинанням та втратою міцності композита. Встановлено, що зі збільшенням вмісту PLA об'єм поглинутої води зменшується більш ніж у 2 рази, що обумовлено зниженням відкритої пористості та ущільненням структури матеріалу.

6. За результатами гідравлічних досліджень встановлено, що збільшення масової концентрації PLA призводить до різкого зменшення пористості (з 28 % до 3,6 %) та проникності (з 1900 мД до 2 мД), що свідчить про поступове «закупорювання» порового простору полімерною фазою.

7. Виявлено нелінійний характер зміни фільтраційних властивостей композита: у діапазоні 4 – 8 % PLA матеріал характеризується дуже високою проникністю, при 12 % – формується компромісна структура з достатньою міцністю та збереженням фільтраційних властивостей, тоді як при 16 % PLA матеріал втрачає фільтраційну здатність.

8. Встановлено, що коефіцієнт фільтрації композита змінюється у часі без різких стрибків, що свідчить про відсутність руйнування структури під дією потоку та підтверджує стабільність матеріалу при гідродинамічному навантаженні.

9. Доведено, що між міцністю та фільтраційними властивостями композита існує компромісна залежність, яка визначає оптимальний діапазон масової концентрації PLA на рівні 4 – 8 %, при якому забезпечується поєднання достатньої механічної міцності для транспортування та необхідної пористості для ефективної фільтрації.

10. Отримані експериментальні результати підтверджують працездатність концепції використання PLA як керованої тимчасової в'язучої речовини, що забезпечує перехід матеріалу від монолітного стану до фільтраційної структури в умовах водного середовища та є науковою основою для розробки технології обланання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Розділ 4 ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЛОКОВОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА ПО СТОВБУРУ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ СВЕРДЛОВИНИ

4.1 Стендові дослідження технології транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

4.1.1 Мета і завдання стендових досліджень

Для визначення якості виконаних робіт з обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром є процес транспортування його по стовбуру свердловини.

При транспортуванні біополімерного гравійного елемента (БГЕ), що входить до складу блокового гравійного фільтра (БГФ), по стовбуру свердловини відбувається його розмонолічування в результаті контакту його з свердловинною рідиною. У початковий період повітряне середовище не впливає на його міцність. Міцнісні характеристики БГЕ фільтра визначають граничну довжину блокової гравійної секції (БГС) фільтра для кожної концентрації біополімерної в'язучої речовини PLA.

Метою стендових випробувань є вивчення параметрів процесу технології транспортування БГФ по стовбуру свердловини.

Під час проведення стендових випробувань визначалась максимальна глибина та час транспортування БГЕ фільтра від:

- масової концентрації біополімерної в'язучої речовини PLA LX175;
- довжини БГС фільтра;
- швидкості транспортування БГЕ фільтра по стовбуру свердловини.

4.1.2 Умови для проведення стендових випробувань

Дослідження процесу транспортування БГЕ фільтра на колоні труб по стовбуру свердловини у водному середовищі проводилися на експериментальному стенді, розробленому та виготовленому за участю автора

дисертації та розміщеному в стендовій залі НТУ «Дніпровська політехніка» на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння (рис 4.1.) Основні елементи стенда:

- модель свердловини з внутрішнім діаметром 200 мм і висотою 3,0 м, верхня частина якої, для візуалізації експерименту, виконана прозорою;
- буровий насос НБ-5;
- зумпф і магістральні труби.

Моделювання транспортування БГФ по стовбуру свердловини проводилося таким чином:

- спуск БГЕ в нерухомій рідині свердловини моделювався обтіканням нерухомого БГЕ фільтра, встановленого в прозорій частині моделі свердловини, водою, що нагніталась насосом знизу вгору;
- відсутність руху БГФ в реальній свердловині при нарощуванні бурильних труб моделювалася перервою у нагнітанні води насосом;
- швидкість спуску БГФ в свердловині моделювалася швидкістю руху води, що нагніталась насосом.
- час спуску БГФ на довжину свічки моделювався часом нагнітанні води насосом;
- час нарощування бурильних труб моделювався часом перерви нагнітанні води насосом.

Рух рідини при випробуванні на стенді відбувався по замкнутому контуру. З зумпфа рідина насосом НБ-5 за допомогою нагнітального трубопроводу подавалася в нижню частину моделі свердловини. Нижня частина моделі свердловини мала довжину 2 м і слугувала для заспокоювання потоку рідини перед її прохідною частиною, де встановлювався трійник для відведення потоку рідини, через який поверталася в зумпф.

Для випробувань виготовлялися БГЕ фільтра циліндричної форми із зовнішнім діаметром 185 мм і внутрішнім діаметром 115 мм (рис. 4.2). Висота зразків БГЕ фільтра становила 100 мм, щільність 1900 – 2070 кг/м³. Маса зразка – 3,2 – 3,3 кг. Досліджувалися БГЕ з гравієм крупністю 0,5 – 0,75 мм. Масова концентрація біополімерної в'язучої речовини в БГЕ становила PLA 4 %, 8 %, 12 %.

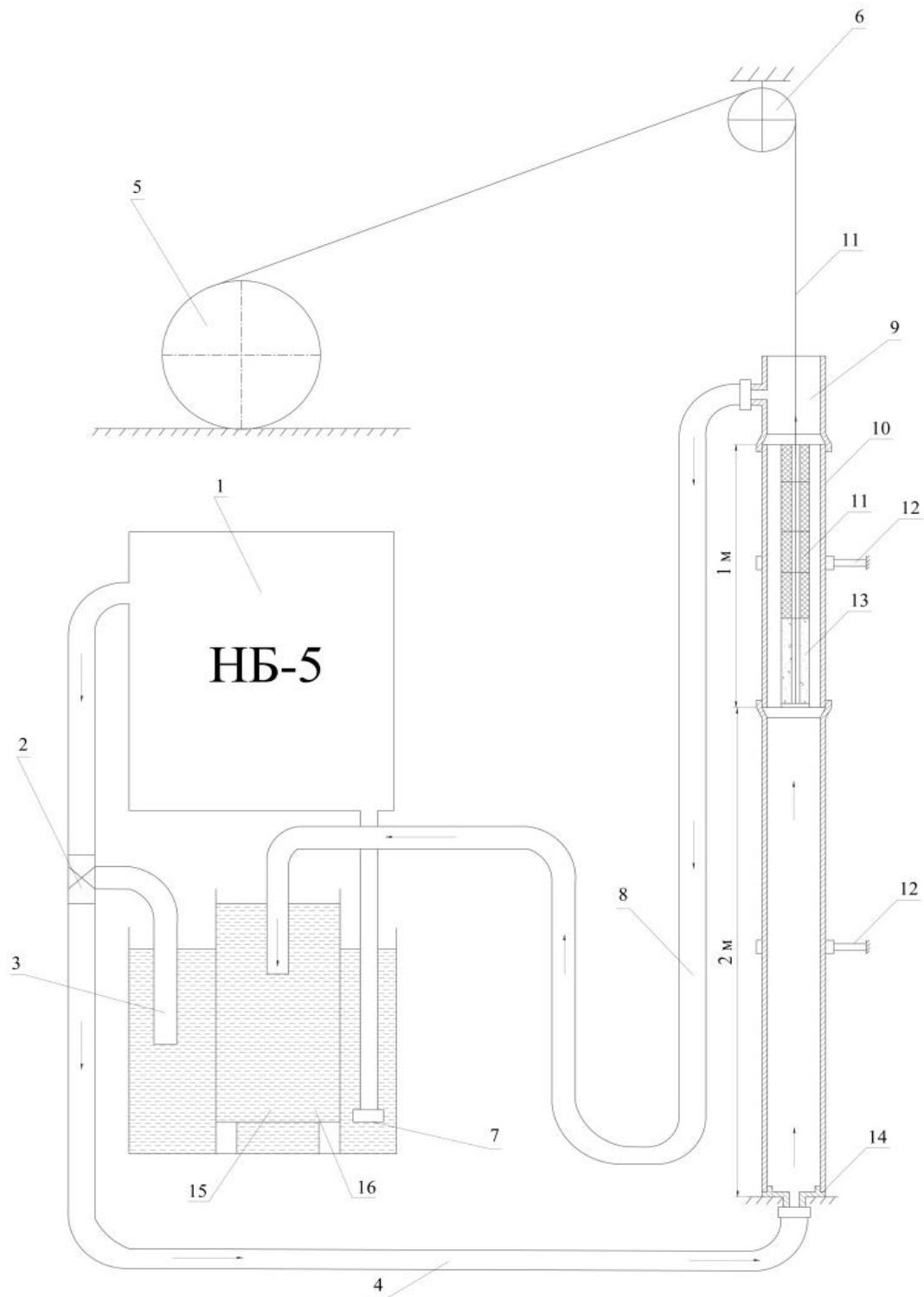


Рисунок 4.1 – Схема станда досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини: 1 – буровий насос НБ-5; 2 – триходовий кран; 3 – скидна магістраль; 4 – напірна магістраль; 5 – лебідка; 6 – напрямний ролик; 7 – всмоктувальний патрубков; 8 – зливна магістраль; 9 – трійник; 10 – прозора труба; 11 – вантаж; 12 – опори; 13 – БГЕ фільтра; 14 – опорний перехідник; 15 – свердловинна рідина; 16 – шламівідстійник

Для транспортування БГЕ було виготовлено каркас фільтрової колони, що складається з труби із зовнішнім діаметром 108 мм і круглою перфорацією. Діаметр отворів 12 мм. На каркас фільтрової колони намотувався і фіксувався металевий дріт діаметром 3 мм. На дротяну обмотку встановлювалась латунна сітка квадратного перерізу з перерізом комірки 1 мм. Зовнішній діаметр робочої частини каркаса фільтрової колони становив 114 мм.

У нижній частині фільтрової колони встановлювали центратор і опорну п'яту.

З метою імітації дії БГС фільтра на нижній БГЕ останній навантажувался сталевим вантажем.

Маса вантажу необхідна для моделювання маси БГС, що діє на нижній БГЕ фільтра.

Кожен БГЕ фільтра незалежно від концентрації біополімерної в'язучої речовини PLA навантажувался вантажем масою 28 кг, 56 кг, 84 кг, 112 кг, 140 кг. Маса БГС складала 30 кг, 60 кг, 90 кг, 120 кг та 150 кг при довжині БГС 1 м, 2 м, 3 м, 4 м та 5 м.

При виконанні технологічних операцій по спуску БГЕ фільтра на колоні бурильних труб зразок БГЕ піддавався гідродинамічному тиску промивальної рідини, що нагніталась насосом НБ-5 із зумпфа. При цьому БГЕ фільтра знаходився у висхідному потоці свердловинної рідини. Швидкість транспортування БГФ по стовбуру свердловини становила 0,05 м/с, при нагнітанні свердловинної рідини насосом – 102 с/хв та зовнішньому діаметрі фільтра 185 мм і діаметрі свердловини 200 мм.

Крім швидкісного режиму транспортування БГФ по стовбуру свердловини, максимальна глибина установки БГФ у водоприймальній частині бурової свердловини залежить від часу обладнання свердловини, до якого входить час циклу транспортування, що розраховується виходячи з того, що:

- на приєднання свічки до колони труб необхідно витратити 120 с;
- на спуск 10 м свічки по стовбуру свердловини необхідно витратити 200 с.

Як показали результати досліджень фізико-механічних властивостей, описаних у розділі 3, найбільший вплив на процес розмонолічування БГФ має час перебування у водному середовищі.

Стендові дослідження проводилися при температурі свердловинної рідини +17°C.

4.1.3 Визначальні показники стендових досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

У процесі проведення стендових досліджень визначалася максимальна глибина транспортування БГЕ фільтра.

При цьому змінними були:

- масова концентрація біополімерної в'язучої речовини PLA в БГЕ фільтра;
- довжина БГС фільтра.

В якості оцінки досягнення максимальної глибини транспортування БГФ по стовбуру свердловини був прийнятий момент руйнування БГЕ фільтра з утворенням тріщин; ця глибина визначалася з урахуванням кількості циклів нагнітання і перерви в роботі бурового насоса НБ-5.

4.1.4 Порядок проведення стендових досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

Порядок проведення стендових досліджень складається з таких етапів:

Етап 1. Виготовлення експериментального зразка БГЕ фільтра. Процес виготовлення розглянуто в розділі 2.

Етап 2. Підготовчий період. Він полягав у встановленні БГЕ фільтра на каркас фільтрової колони.

Етап 3. Транспортування експериментального зразка БГЕ фільтра по моделі стовбура свердловини. Робота виконувалася в такій послідовності:

- зібраний БГС фільтр механічною лебідкою доставлявся у внутрішню порожнину моделі гідрогеологічної свердловини і встановлювався в її прозорій частині;
- подавану рідину необхідної температури залежно від швидкості транспортування БГС фільтра нагнітали насосами. Температура і нагнітання були незмінними в часі;
- вимірювальним приладом (секундоміром) фіксували час нарощування колони, спуску свічки і сумарних циклів. При цьому в момент імітації спуску свічки в модель свердловини насосом нагніталася рідина;
- за зміною стану експериментального зразка БГЕ фільтра в прозорій моделі стовбура гідрогеологічної свердловини стежили візуально. Виконання стендових досліджень фіксувалося фотокамерою.

4.1.5 Результати стендових досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

Результати стендових досліджень процесу транспортування БГЕ фільтра отримані на експериментальному стенді в умовах, максимально наближених до реальних умов спуску фільтрової колони у свердловині, та узагальнені у вигляді фотографічних матеріалів (рис. 4.1), табличних даних (табл. 4.1) і графічних залежностей (рис. 4.2 – 4.4).

Фотографії, наведені на рисунку 4.1, відображають характерні стадії транспортування БГЕ у потоці свердловинної рідини. Встановлено, що в початковий період експерименту структура БГЕ є стабільною, поверхня елемента залишається цілісною, а геометричні параметри не змінюються. У подальшому, зі збільшенням тривалості дії свердловинної рідини та гідродинамічного навантаження, спостерігається поступове порушення структури матеріалу. Це проявляється у вигляді локального розпушення поверхні, утворення мікротріщин та часткового відшарування окремих зерен гравію.



Рисунок 4.1 – Фотографія стендових досліджень БГЕ фільтра

На завершальній стадії фіксується інтенсивне руйнування БГЕ, що супроводжується втратою його цілісності та несучої здатності. При цьому встановлено, що швидкість розвитку цих процесів суттєво залежить від концентрації в'язучої речовини PLA: для зразків із вмістом PLA 4 % руйнування має інтенсивний характер, тоді як для вмістом PLA 12 % структура зберігає стабільність протягом більш тривалішого часу.

Кількісні результати стендових досліджень наведено у таблиці 4.1. Аналіз отриманих даних показує, що максимальна глибина транспортування БГЕ є функцією двох основних параметрів: концентрації PLA й еквівалентної довжини блокової гравійної секції (БГС), яка визначає величину осьового навантаження на нижній елемент.

Для зразків із вмістом PLA 4 % максимальна глибина транспортування змінюється в межах 210 – 330 м. При цьому збільшення довжини БГС з 1 м до 5 м призводить до поступового зменшення глибини транспортування, що пов'язано зі зростанням навантаження на нижній БГЕ. Для концентрації PLA 8 % значення максимальної глибини суттєво зростають і становлять 1180 – 1550 м, що у 5 – 6 разів перевищує відповідні показники для зразків з вмістом PLA 4 %. Найбільш високі значення отримані для зразків із вмістом PLA 12 %, де максимальна глибина транспортування досягає 6220 – 7210 м, що свідчить

про принципову зміну механічних характеристик композита при збільшенні в'язучої речовини PLA.

Таблиця 4.1 Результати стендових досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру свердловини

Насос		Час, с			U _{БГЕ} , м/с	Вміст PLA, %	Середнє значення			Стандартне відхилення (вибіркове), σ	Коефіцієнт варіації, %		
Тип насоса	Q л/хв	t _{сп} ^Н	t _{сп} ^{СВ}	t _ц			Вага еквівалентного вантажу, Н	Еквівалентна довжина БГС, м	Кількість циклів при t _в = +17 °С			Глибина транспортування по стовбуру свердловини, м	Час спуску БГС, год
НБ-5	102	120	200	320	0,05	4	280	1	33	330	2,96	1,65	5,0
							560	2	29	290	2,60	1,16	4,0
							840	3	26	260	2,33	1,82	7,0
							1120	4	23	230	2,06	0,92	4,0
							1400	5	21	210	1,88	0,84	4,0
	120	200	320	0,05		8	280	1	251	1550	13,89	5,29	2,1
							560	2	235	1450	12,99	11,30	3,6
							840	3	227	1330	11,92	7,20	3,0
							1120	4	211	1250	11,20	4,36	1,9
							1400	5	205	1180	10,57	7,00	3,1
	150	200	320	0,05		12	280	1	521	7210	64,61	22,90	3,7
							560	2	500	7000	62,72	28,93	4,7
							840	3	469	6690	59,95	11,55	1,9
							1120	4	451	6510	58,33	13,53	3,0
							1400	5	422	6220	55,73	10,55	4,0

Встановлено, що вплив довжини БГС на граничну глибину транспортування має системний характер для всіх досліджених концентрацій PLA. Зі збільшенням довжини БГС від 1 м до 5 м глибина транспортування зменшується в середньому на 30 – 40 %. Це пояснюється тим, що маса верхніх

елементів фільтрової колони створює додаткове осьове навантаження, яке концентрується на нижньому БГЕ та призводить до прискорення процесу його руйнування. При цьому для низьких концентрацій PLA цей ефект проявляється більш різко, що свідчить про недостатню міцність зв'язків у структурі матеріалу.

Часові параметри транспортування також демонструють чітко виражену залежність від концентрації в'язучої речовини PLA. Для зразків із вмістом PLA 4 % час транспортування становить 1,8 – 2,9 год, для 8 % PLA – 13,8 – 10,5 год, а для 12 % PLA – 64,6–55,7 хв. Таким чином, зі збільшенням концентрації PLA спостерігається не лише зростання максимальної глибини транспортування, але й суттєве збільшення часу до руйнування матеріалу. Це свідчить про те, що процес руйнування БГЕ у свердловинній рідині має часовий характер і визначається швидкістю фізико-хімічних процесів, що відбуваються у полімерній матриці.

Аналіз статистичних показників, наведених у таблиці 4.1, показує, що стандартне відхилення результатів є незначним, а коефіцієнт варіації знаходиться в межах 1,9 – 7,0 %. Це свідчить про високу відтворюваність експериментальних досліджень та достовірність отриманих даних. Отримані результати можуть бути використані як надійна експериментальна база для подальшого математичного моделювання процесу транспортування БГЕ.

Графічні залежності, наведені на рисунках 4.2 – 4.5, підтверджують встановлені експериментальні закономірності. Зокрема, на рисунку 4.2 наведено залежність максимальної глибини транспортування від довжини БГС. Усі криві мають монотонно спадний характер, що свідчить про негативний вплив збільшення довжини фільтрової колони на стійкість нижнього БГЕ. При цьому зі збільшенням концентрації PLA криві стають більш пологими, що вказує на підвищення опору матеріалу до руйнування.

На рисунку 4.3 показано залежність часу транспортування від довжини БГС. Характер зміни аналогічний залежності глибини: зі збільшенням довжини БГС час до руйнування зменшується, що підтверджує визначальну роль механічного навантаження у процесі втрати міцності матеріалу.

На рисунках 4.4 – 4.5 показано залежності максимальної глибини транспортування та часу спуску від концентрації PLA. Отримані криві мають виражений нелінійний характер, що свідчить про різке підвищення ефективності в'язучої речовини при збільшенні її вмісту. Найбільш суттєве зростання параметрів спостерігається при переході від вмісту 4 % до 8 % PLA, що вказує на досягнення порогового значення, при якому формується більш стійка просторово зв'язана структура композита.

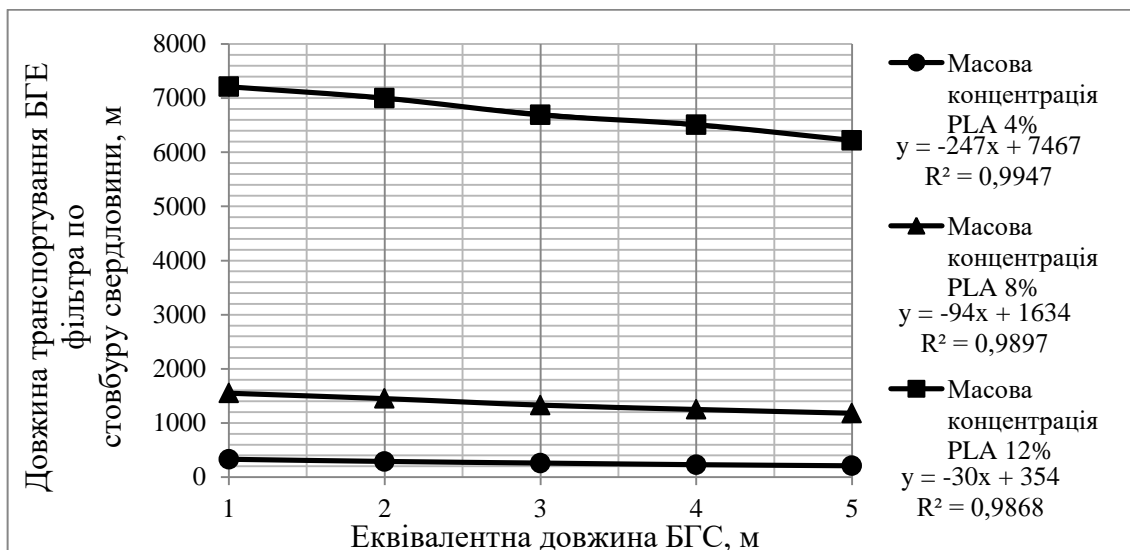


Рисунок 4.2 – Залежність максимальної довжини спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГ\Phi}=0,05$ м/с

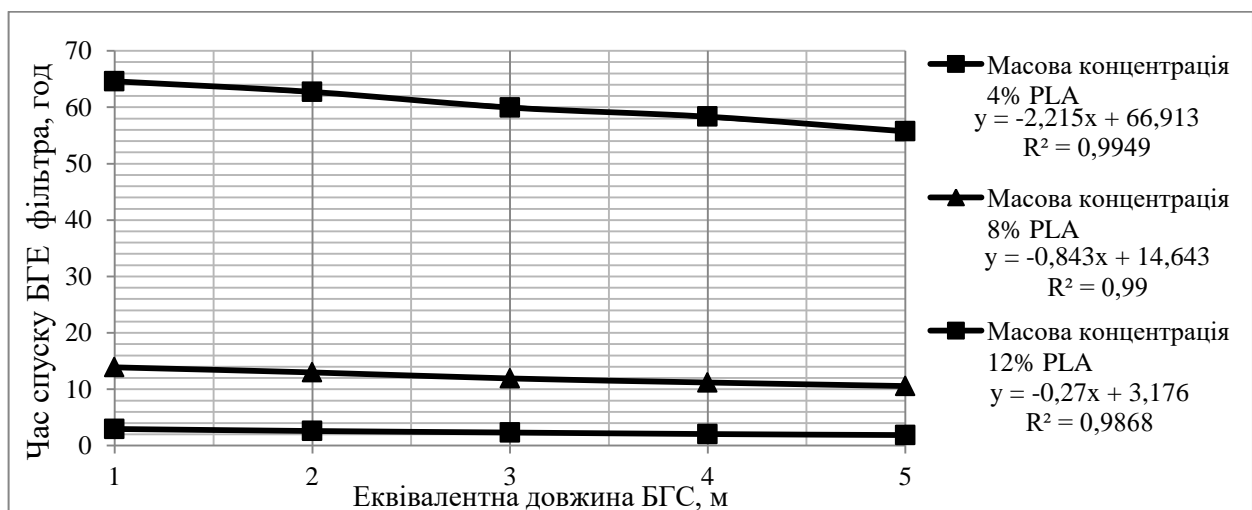


Рисунок 4.3 – Залежність часу спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГ\Phi}=0,05$ м/с

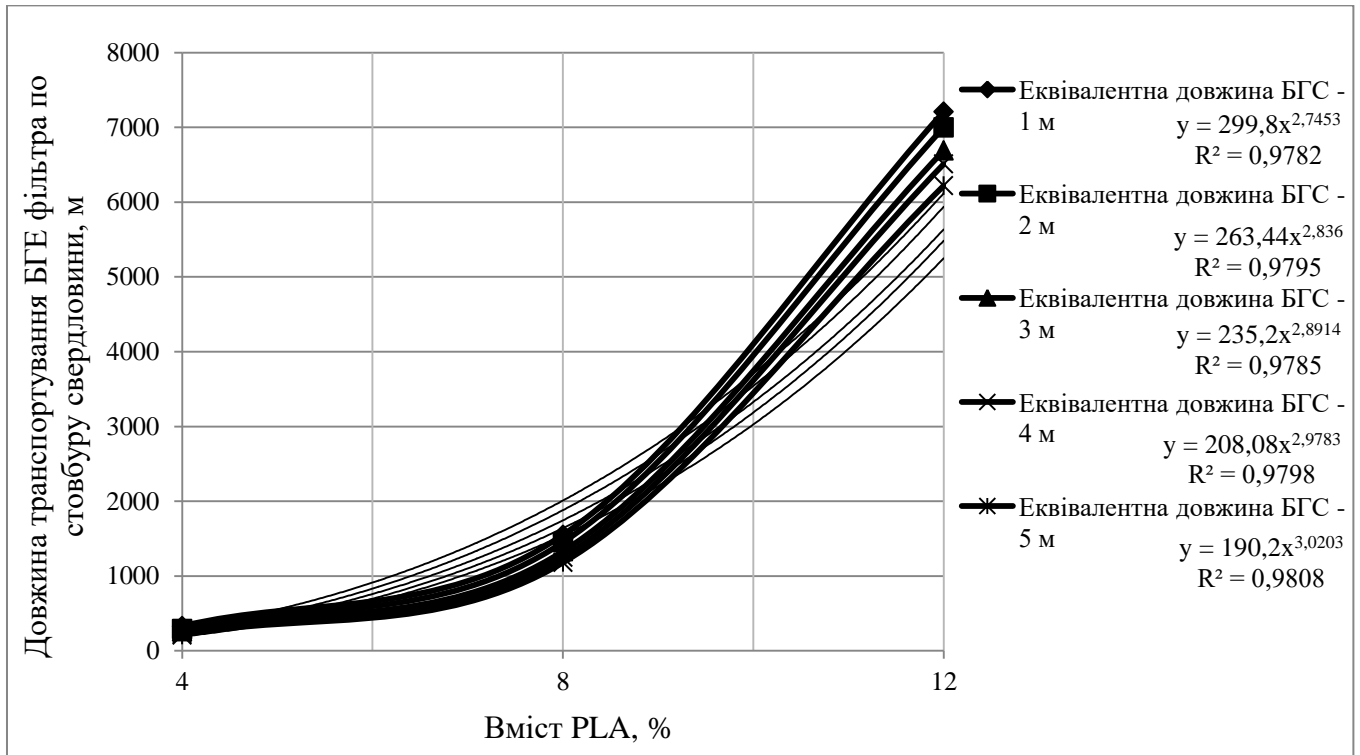


Рисунок 4.4 – Залежність максимальної довжини спуску БГЕ від вмісту PLA при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

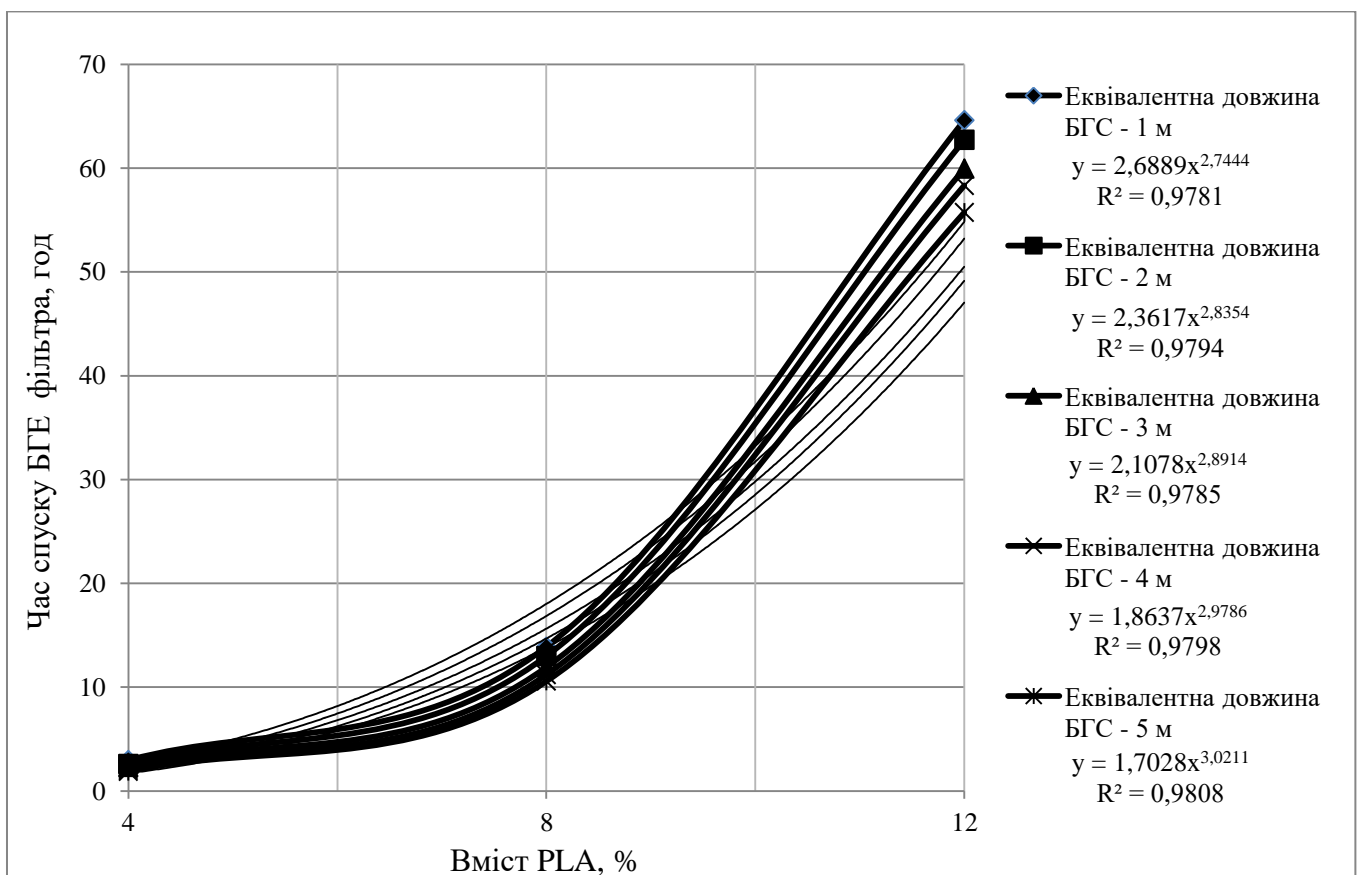


Рисунок 4.5 – Залежність часу спуску БГЕ від вмісту PLA при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

За результатами досліджень слід зазначити, що процес транспортування БГЕ по стовбуру свердловини є складним багатофакторним явищем, у якому визначальну роль відіграють взаємодія механічних навантажень та дія свердловинної рідини. Отримані експериментальні залежності дозволяють кількісно оцінити вплив основних параметрів. Встановлені закономірності мають важливе практичне значення, оскільки дозволяють обґрунтувати раціональні параметри конструкції та режимів транспортування БГЕ при обладнанні бурових свердловин.

4.2 Моделювання процесу транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

4.2.1 Постановка завдання. Визначення цільової величини

Під час спуску БГЕ фільтра у свердловину на нього діє зовнішній тиск свердловинної рідини, який зростає зі збільшенням глибини, а також додаткові транспортні навантаження, пов'язані з процесом переміщення та нарощування фільтрової колони. Свердловинна рідина розмолює БГЕ фільтра, тому критерій міцності має формуватися для обводненого стану БГЕ фільтра.

Метою моделювання є отримання аналітичної залежності для допустимої (граничної) глибини спуску БГЕ фільтра, за якої напружений стан фільтра не перевищує межу міцності композита після водонасичення.

Під час розрахунку теоретичної глибини спуску БГЕ фільтра визначалась максимальна глибина та час транспортування БГЕ фільтра від:

- масової концентрації біополімерної в'язучої речовини PLA;
- довжини БГС фільтра;
- швидкості нарощування фільтрової колони за один цикл;
- товщини БГЕ фільтра.

4.2.2 Складові математичної моделі

Нехай z – максимальна допустима глибина спуску БГЕ фільтра у вертикальній свердловині. На БГЕ фільтра діють:

- осьове навантаження F (навантаження верхніх БГЕ фільтра на нижній БГЕ фільтра) – направлена вниз;
- гідродинамічна сила F_D (сила опору рідини при спуску) – направлена вгору, яка залежить від швидкості спуску БГЕ фільтра u_{sp} ;
- гідростатичний тиск $p_{hyd} = \rho g z$, де ρ – густина свердловинної рідини; g – прискорення вільного падіння;
- гідростатичний тиск створює розподілене навантаження на стінки БГЕ, що призводить до напружень. Несучу здатність БГЕ фільтра (граничний опір руйнуванню) описують параметри:

- $\sigma_{c,\omega}$ – межа міцності **обводненого** зразка БГК на одноосьове стиснення (120 хв у водному середовищі), Па;

- δ_{st} – товщина стінки БГЕ фільтра, м;

- R_m – середній радіус БГЕ фільтра, м;

- $K_t(F)$ – коефіцієнт відповідності, що враховує вплив свердловинної рідини на БГЕ фільтра й ідентифікується за результатами стендових досліджень, та зміну напруженого стану залежно від осьового навантаження F (безрозмірний, $K_t(F) = a + bF + cF^2$);

- K_g – коефіцієнт геометрії або інших факторів (безрозмірний).

Площа поперечного перерізу БГЕ фільтра: $A = \pi(R_m^2 - (R_m - \delta_{st})^2) \approx 2\pi R_m \delta_{st}$ для тонкостінної труби.

4.2.3 Фізичний принцип моделі

Максимальна глибина z досягається, коли сумарне навантаження зрівноважується несучою здатністю з урахуванням гідростатики. Розглянемо умову міцності: напруження від гідростатичного тиску та осьового навантаження не повинні перевищувати міцність БГЕ фільтра з урахуванням коефіцієнтів. Для тонкостінної оболонки кільцеве напруження від зовнішнього

$$\text{тиску } \sigma_{ring} = \frac{p_{hyd} R_m}{\delta_{st}}.$$

Осьове напруження від сили F : $\sigma_{ax} = \frac{F-F_D}{A}$ (розтяг – додатний, якщо $F > F_D$).

Узагальнена умова міцності (за еквівалентними напруженнями) може бути записана як:

$$\sigma_{c,\omega} = \frac{p_{hyd} R_m}{\delta_{st}} \cdot \frac{1}{K_t(F) K_g} + \frac{F-F_D}{A} \cdot (\text{коефіцієнт}). \quad (4.1)$$

Але для інженерної моделі часто використовують енергетичний критерій, що призводить до розділення змінних. На основі аналізу розмірностей та експериментів:

$$Z = \frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g R_m}{\rho g A} - \frac{F-F_D}{\rho g A}. \quad (4.2)$$

Це рівняння узгоджує розмірності:

перший доданок: $\sigma_{c,\omega} \delta_{st} R_m \rightarrow$ сила (Н), ділиться на $\rho g A \rightarrow$ (Н) / (Н/м) = м;

другий доданок: $\frac{F-F_D}{\rho g A} \rightarrow$ Н / (Н/м) = м.

Обидва доданки мають розмірність довжини, тому їх додавання/віднімання коректне.

4.2.3.1 Виведення у вигляді математичної моделі

Гідростатичний тиск на глибині z :

$$p_{hyd} = \rho g z. \quad (4.3)$$

Від цього тиску в стінці труби виникає кільцеве напруження:

$$\sigma_{ring} = \frac{p_{hyd} R_m}{\delta_{st}} = \frac{\rho g z R_m}{\delta_{st}}. \quad (4.4)$$

Осьове напруження від різниці сил $F - F_D$ (з урахуванням, що F_D зменшує розтяг):

$$\sigma_{ax} = \frac{F - F_D}{A}. \quad (4.5)$$

Умова міцності (за гіпотезою найбільших нормальних напружень або за енергетичним критерієм) має вигляд:

$$\sigma_{c,\omega} = \sigma_{ring} \cdot \frac{1}{K_t(F)K_g} + \sigma_{ax}, \quad (4.6)$$

де $K_t(F)$ і K_g – поправочні коефіцієнти (зменшують внесок кільцевих напружень через перерозподіл навантаження при осьовому розтягу/стиску).

Підставляємо вирази:

$$\sigma_{c,\omega} = \frac{\rho g z R_m}{\delta_{st}} \cdot \frac{1}{K_t(F)K_g} + \frac{F - F_D}{A}. \quad (4.7)$$

Розв'язуємо відносно z :

$$\sigma_{c,\omega} - \frac{F - F_D}{A} = \frac{\rho g z R_m}{\delta_{st} K_t(F) K_g}; \quad (4.8)$$

$$z = \frac{\delta_{st} K_t(F) K_g}{\rho g R_m} \left(\sigma_{c,\omega} - \frac{F - F_D}{A} \right). \quad (4.9)$$

Перетворюємо до зручного вигляду:

$$z = \frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g}{\rho g R_m} - \frac{\delta_{st} K_t(F) K_g}{\rho g R_m} \cdot \frac{F - F_D}{A}. \quad (4.10)$$

Якщо врахувати, що $A \approx 2\pi R_m \delta_{st}$ (тонкостінна труба), то $\frac{\delta_{st}}{A} \approx \frac{1}{2\pi R_m}$.

Підставляючи, отримаємо:

$$z = \frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g}{\rho g R_m} - \frac{K_t(F) K_g}{\rho g} \cdot \frac{F - F_D}{2\pi R_m^2} \quad (4.11)$$

Оскільки R_m входить у знаменник обох доданків, зручно записати:

$$z = \frac{1}{\rho g} \left(\frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g}{R_m} - \frac{K_t(F) K_g (F - F_D)}{2\pi R_m^2} \right) \quad (4.12)$$

Це і є фізично обґрунтована математична модель. Для спрощення (як у вихідному тексті) часто залишають вираз із A в знаменнику, але обов'язково відносять $F - F_D$ до того ж знаменника $\rho g A$:

$$z = \frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g R_m}{\rho g A} - \frac{F - F_D}{\rho g A} \quad (4.13)$$

Функціональна залежність - коректний запис функції (аналог (4.1)):

$$z = f(\sigma_{c,\omega}, \delta_{st}, R_m, K_t(F), K_g, \rho, g, A, F, F_D(u_{sp})) \quad (4.14)$$

або, якщо явно вказати u_{sp} :

$$z = f(\sigma_{c,\omega}, \delta_{st}, R_m, K_t(F), K_g, \rho, g, A, F, u_{sp}), \quad (4.15)$$

де $F_D(u_{sp}) = \frac{1}{2} \rho C_D A_{proj} u_{sp}^2$.

Аналіз залежностей:

1. Міцність композита: $z \approx \sigma_{c,\omega}$ (пряма пропорційність).
2. Густина свердловинної рідини: $z \approx 1/\rho$ (обернена).

3. Товщина стінки БГЕ фільтра: $z \approx \delta_{st}$.

4. Площа перерізу БГЕ фільтра: $z \approx 1/A$ (обернена, бо A збільшує гідростатичну силу).

5. Осьове навантаження: при $F \uparrow$ значення $F - F_D$ зростає, тому $z \downarrow$ (обернена залежність, але через різницю).

6. Швидкість спуску БГЕ фільтра: $u_{sp} \uparrow \Rightarrow F_D \uparrow \Rightarrow (F - F_D) \downarrow \Rightarrow z \uparrow$ (позитивний вплив).

Кінцевий вигляд математичної моделі:

$$z = \frac{\sigma_{c,\omega} \delta_{st} K_t(F) K_g R_m^{-F+F_D}}{\rho g A}. \quad (4.16)$$

Додаткові співвідношення:

$$K_t(F) = a + bF + cF^2, F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_{proj} u_{sp}^2;$$

$$A = \pi(R_m^2 - (R_m - \delta_{st})^2) \text{ (або наближено } A \approx 2\pi R_m \delta_{st} \text{)}.$$

4.2.4 Результати розрахунку досліджень технології транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини

Результати розрахункових досліджень, отримані на основі розробленої математичної моделі, дали змогу встановити кількісні закономірності транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини й оцінити ступінь впливу основних технологічних і конструктивних параметрів на граничну глибину його спуску. На відміну від суто емпіричного підходу, застосована модель дозволяє не лише описати вже зафіксовані стендові результати, а й аналітично обґрунтувати зміну працездатності БГЕ в процесі його переміщення у свердловинному середовищі з урахуванням осьового навантаження, гідродинамічної дії потоку та часової деградації міцності композита у воді. Узагальнення результатів розрахунку та їх порівняння зі стендовими даними наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Порівняння розрахунків стенда і математичної моделі

Вміст PLA, %	Маса еквівалентного вантажу, Н	Еквівалентна довжина БГС, м	Довжина транспортування БГЕ фільтра по стовбуру свердловини (за стендом), м	Довжина транспортування БГЕ фільтра по стовбуру свердловини (за мат. модел.), м	Абсолютне відхилення, м	Відносна похибка, %	Час спуску БГС (за стендом), год	Час спуску БГС (за мат. модел.), год
4	280	1	330	329,70	0,30	0,09	2,96	2,93
	560	2	290	291,10	1,10	0,39	2,60	2,59
	840	3	260	258,30	1,70	0,66	2,33	2,30
	1120	4	230	231,10	1,10	0,50	2,06	2,05
	1400	5	210	209,70	0,30	0,14	1,88	1,86
8	280	1	1550	1554,30	4,30	0,28	13,89	13,82
	560	2	1450	1438,90	11,10	0,77	12,99	12,79
	840	3	1330	1337,70	7,70	0,58	11,92	11,89
	1120	4	1250	1250,90	0,90	0,07	11,20	11,12
	1400	5	1180	1178,30	1,70	0,15	10,57	10,47
12	280	1	7210	7215,70	5,70	0,08	64,61	64,14
	560	2	7000	6975,10	24,90	0,36	62,72	62,00
	840	3	6690	6730,30	40,30	0,60	59,95	59,83
	1120	4	6510	6481,10	28,90	0,44	58,33	57,61
	1400	5	6220	6227,70	7,70	0,12	55,73	55,36

Насамперед слід зазначити, що розроблена математична модель продемонструвала високий рівень узгодженості з експериментальними даними. Для всіх досліджених серій відносна похибка між стендовими та розрахунковими значеннями глибини транспортування не перевищує 0,77 %, а в більшості випадків перебуває в межах 0,07 – 0,60 %. Такий результат є принципово важливим, оскільки свідчить про адекватність прийнятої фізичної постановки задачі та коректність врахування в моделі основних факторів, що визначають руйнування БГЕ під час спуску. Фактично це означає, що модель достатньо точно відтворює реальний механізм втрати несучої здатності

елемента в умовах свердловини та може бути використана як інструмент інженерного прогнозування при зміні технологічних параметрів.

Аналіз табл. 4.2 показує, що для зразків із вмістом PLA 4 % розрахункова глибина транспортування змінюється в межах від 209,7 м до 329,7 м, тоді як експериментально встановлені значення становлять 210 – 330 м. Абсолютні відхилення тут є мінімальними та не перевищують 1,7 м. Це дає підстави стверджувати, що модель коректно описує роботу низькоміцного біополімерно-гравійного композита, для якого руйнування настає порівняно швидко внаслідок поєднаної дії навантаження і розмонолічування у водному середовищі. Для цього інтервалу концентрацій характерною є висока чутливість до збільшення еквівалентної довжини БГС: при переході від 1 м до 5 м глибина транспортування зменшується від 330 м до 210 м, тобто приблизно на 36 %. Це свідчить, що за низького вмісту в'язучої речовини руйнування БГЕ визначається передусім нестачею механічної міцності композита, а додаткове осьове навантаження істотно прискорює досягнення граничного стану.

Для концентрації PLA 8 % спостерігається якісно інший характер процесу. Розрахункові значення граничної глибини транспортування становлять 1178,3 – 1554,3 м, тоді як за стендовими дослідженнями вони дорівнюють 1180 – 1550 м. Відносна похибка при цьому не перевищує 0,77 %, що також підтверджує високу точність моделі. У порівнянні з БГЕ, виготовленими з вмістом PLA 4 %, збільшення вмісту біополімерної в'язучої речовини до 8 % забезпечує кратне зростання допустимої глибини спуску – приблизно у 5 – 6 разів. Такий результат свідчить не просто про пропорційне підвищення міцності, а й про структурну перебудову композита: формується значно стійкіша система контактів між зернами гравію, що довше зберігає цілісність у водному середовищі. У цьому випадку механічний фактор уже не є єдиним визначальним; дедалі більшого значення набуває часовий фактор, тобто тривалість перебування БГЕ у воді до моменту критичного зниження міцності.

Найбільш високі значення отримано для БГЕ з вмістом PLA 12 %. Розрахункова глибина транспортування змінюється в межах 6227,7 – 7215,7 м, що практично збігається зі стендовими даними 6220 – 7210 м. Навіть при

максимальному навантаженні 1400 Н відносна похибка складає лише 0,12 %, а найбільше відхилення по всій серії не перевищує 0,60 %. Такі результати переконливо свідчать про те, що при концентрації 12 % PLA у композиті формується високоміцна й більш водостійка просторова структура, здатна зберігати несучу здатність протягом тривалого часу навіть за значних осьових навантажень. Водночас важливо підкреслити, що і в цьому випадку зі збільшенням довжини БГС гранична глибина спуску зменшується, однак інтенсивність цього зменшення є значно нижчою, ніж для концентрації 4 % PLA. Це вказує на зниження чутливості високоміцного композита до механічного перевантаження.

Окремого аналізу потребують часові параметри транспортування, оскільки саме вони безпосередньо пов'язані з перебуванням БГЕ у свердловинній рідині та, відповідно, з втратою його міцності в часі. Розрахункові значення часу спуску, наведені у табл. 4.2, також добре узгоджуються зі стендовими. Для концентрації 4 % PLA вони становлять 1,86 – 2,93 год, для 8 % PLA – 10,47 – 13,82 год, а для 12 % PLA – 55,36 – 64,14 год. Така закономірність має принциповий характер: зі збільшенням концентрації PLA суттєво зростає не лише допустима глибина спуску, а й тривалість збереження працездатного стану БГЕ у водному середовищі. Це означає, що підвищення вмісту біополімерної в'язучої речовини призводить до уповільнення процесу розмонолічування та відтерміновує настання граничного стану. Отже, для міцніших композицій часовий ресурс елемента стає ключовим резервом підвищення технологічної надійності транспортування.

Графічна інтерпретація результатів розрахунків, подана на рис. 4.6 – 4.11, підтверджує встановлені аналітичні закономірності та дозволяє більш наочно оцінити характер впливу окремих параметрів на глибину й тривалість транспортування БГЕ. Насамперед слід звернути увагу на рис. 4.6 – 4.8, де показано залежності максимальної глибини спуску від довжини блокової гравійної секції при різних концентраціях PLA. Усі отримані криві мають монотонно спадний характер, що свідчить про закономірне зменшення допустимої глибини транспортування зі збільшенням довжини БГС, а отже, й

еквівалентного навантаження на нижній елемент. Такий характер кривих повністю узгоджується з фізичною сутністю процесу: при зростанні навантаження в стінці БГЕ підвищуються еквівалентні напруження, а отже, момент досягнення граничного стану настає на меншій глибині.

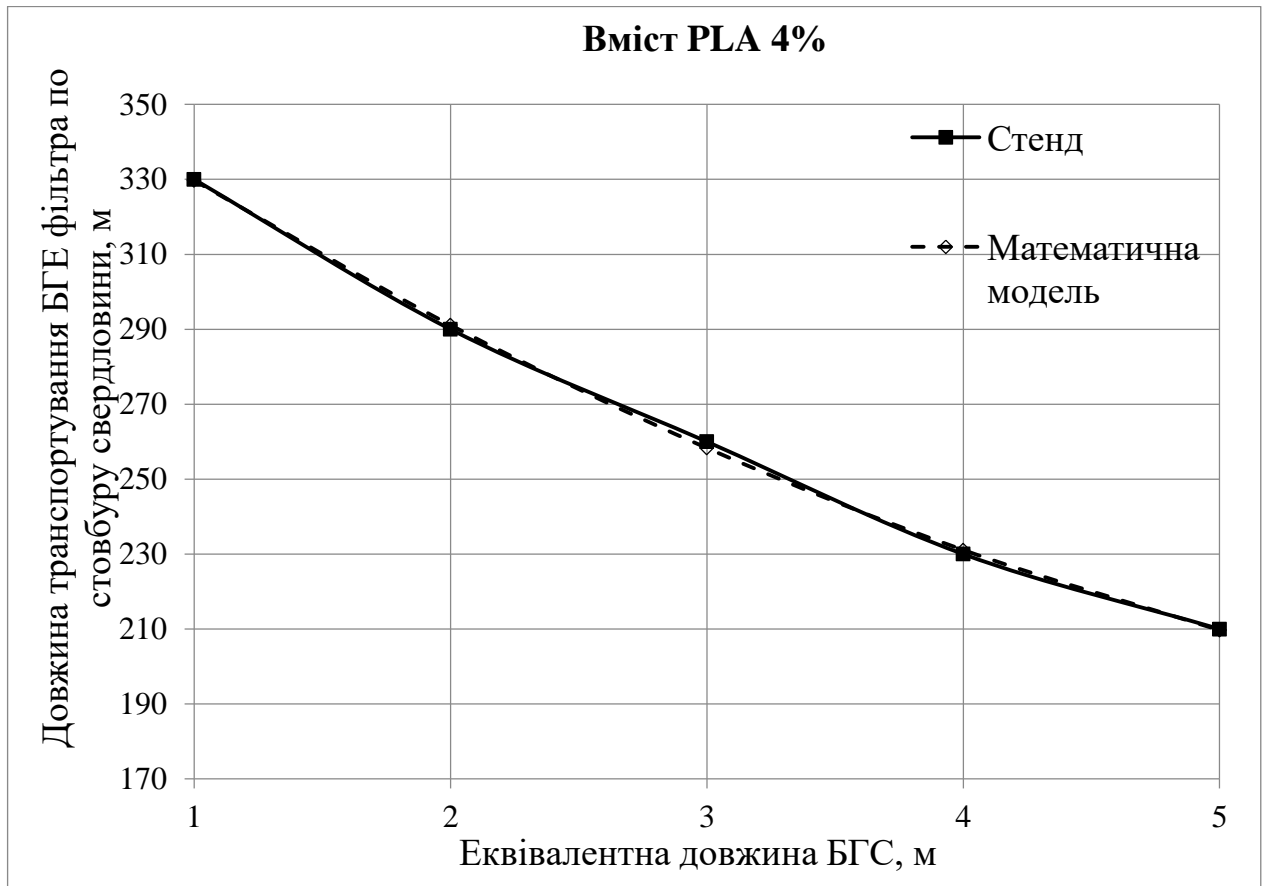


Рисунок 4.6 – Залежність максимальної довжини спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

На рис. 4.6, що відповідає концентрації PLA 4 %, спад кривої є найбільш різко вираженим. Це вказує на те, що для маломіцного композита навіть відносно невелике збільшення довжини БГС істотно знижує можливу глибину спуску. Практично це означає, що при використанні БГЕ з вмістом PLA 4 % область їх технологічно надійного застосування є обмеженою, а маса блокової секції має жорстко контролюватися. Для таких елементів критичне значення має не лише саме перебування у воді, а й додаткове осьове навантаження, яке різко інтенсифікує руйнування. Саме тому крива на рис. 4.6 є найбільш крутою серед усіх розрахункових залежностей.

На рис. 4.7, який відображає результати для вмісту PLA 8 %, характер спадання зберігається, однак крива стає більш пологою.

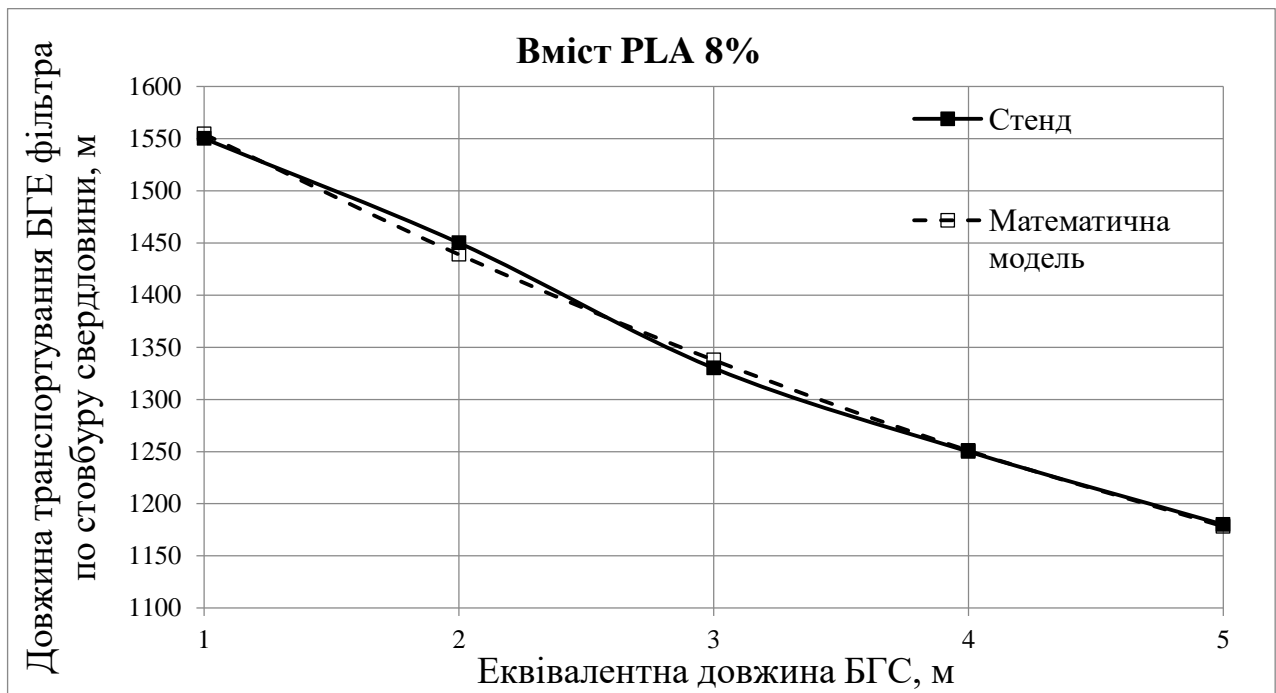


Рисунок 4.7 – Залежність максимальної довжини спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

Це свідчить про зростання стійкості композита до осевого стиснення та дії потоку свердловинної рідини. Іншими словами, при такій концентрації в'язучої речовини механічне навантаження вже не має настільки руйнівної дії, як для вмісту PLA 4 %. У технологічному аспекті це означає, що фільтрові елементи з вмістом PLA 8 % можуть застосовуватися в більш широкому інтервалі глибин і за більшого навантаження без суттєвого ризику передчасного руйнування. Така поведінка є проміжною між низькоміцною та високоміцною групами БГЕ і підтверджує доцільність розгляду з вмістом PLA 8 % як практично значущої межі переходу до більш стабільної структури матеріалу.

На рис. 4.8, який характеризує залежність для БГЕ з вмістом PLA 12 %, криві мають найбільш пологий характер. Це є свідченням того, що навіть суттєве збільшення довжини БГС не викликає різкого зменшення допустимої глибини транспортування. Фізично це пояснюється високим запасом міцності композита та його здатністю тривалий час зберігати цілісність у водному

середовищі. З практичного погляду така закономірність є надзвичайно важливою, оскільки саме вона відкриває можливість застосування БГЕ з вмістом 12 % PLA у більш глибоких водоприймальних інтервалах без істотного обмеження за довжиною блокової секції. Таким чином, графік на рис. 4.8 відображає найвищий рівень технологічної надійності серед досліджених варіантів складу композита.

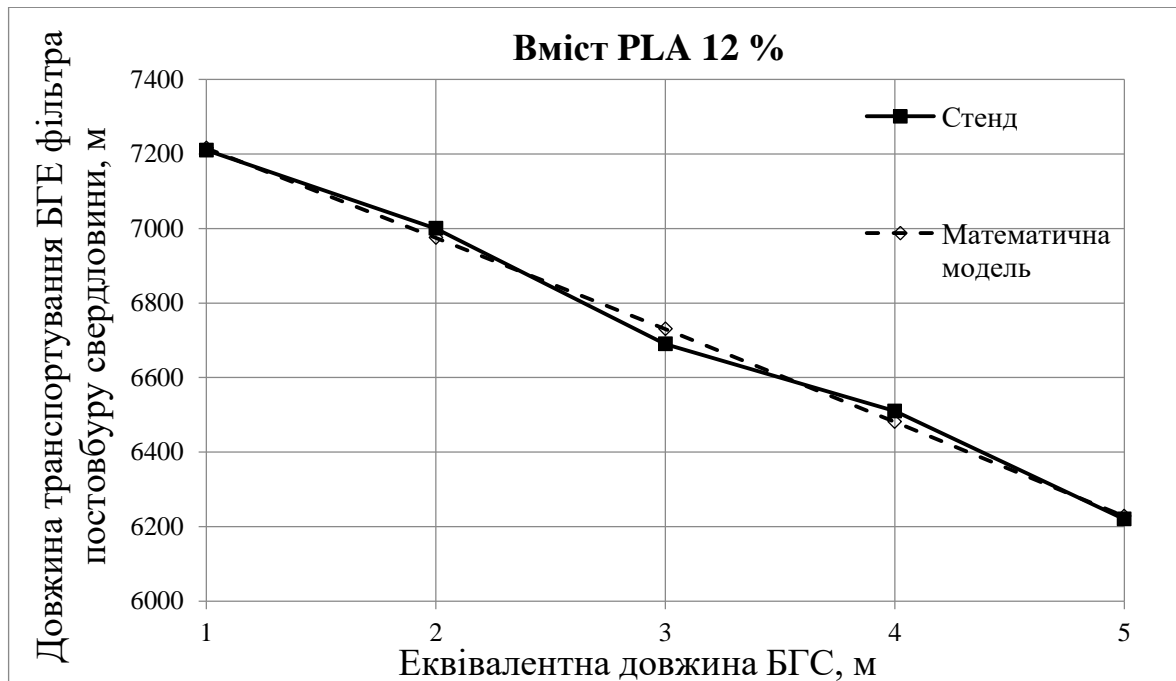


Рисунок 4.8 – Залежність максимальної довжини спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

Не менш інформативними є графіки на рис. 4.9 – 4.11, де наведено залежності часу спуску БГЕ від довжини БГС. Їхній характер загалом аналогічний графікам глибини: зі збільшенням довжини БГС час до настання руйнування зменшується. Проте інтерпретація цих графіків має ще глибший сенс, оскільки йдеться не лише про механічний аспект, а й про тривалість водонасичення та розмонолічування композита. Чим довше БГЕ перебуває в контакті зі свердловинною рідиною, тим нижчою стає його поточна міцність. Тому часові графіки фактично відображають кінетику втрати працездатності елемента під час транспортування. Їхня узгодженість з графіками глибини підтверджує, що запропонована модель коректно поєднує в одному

розрахунковому підході механічний та фізико-хімічний аспекти руйнування.

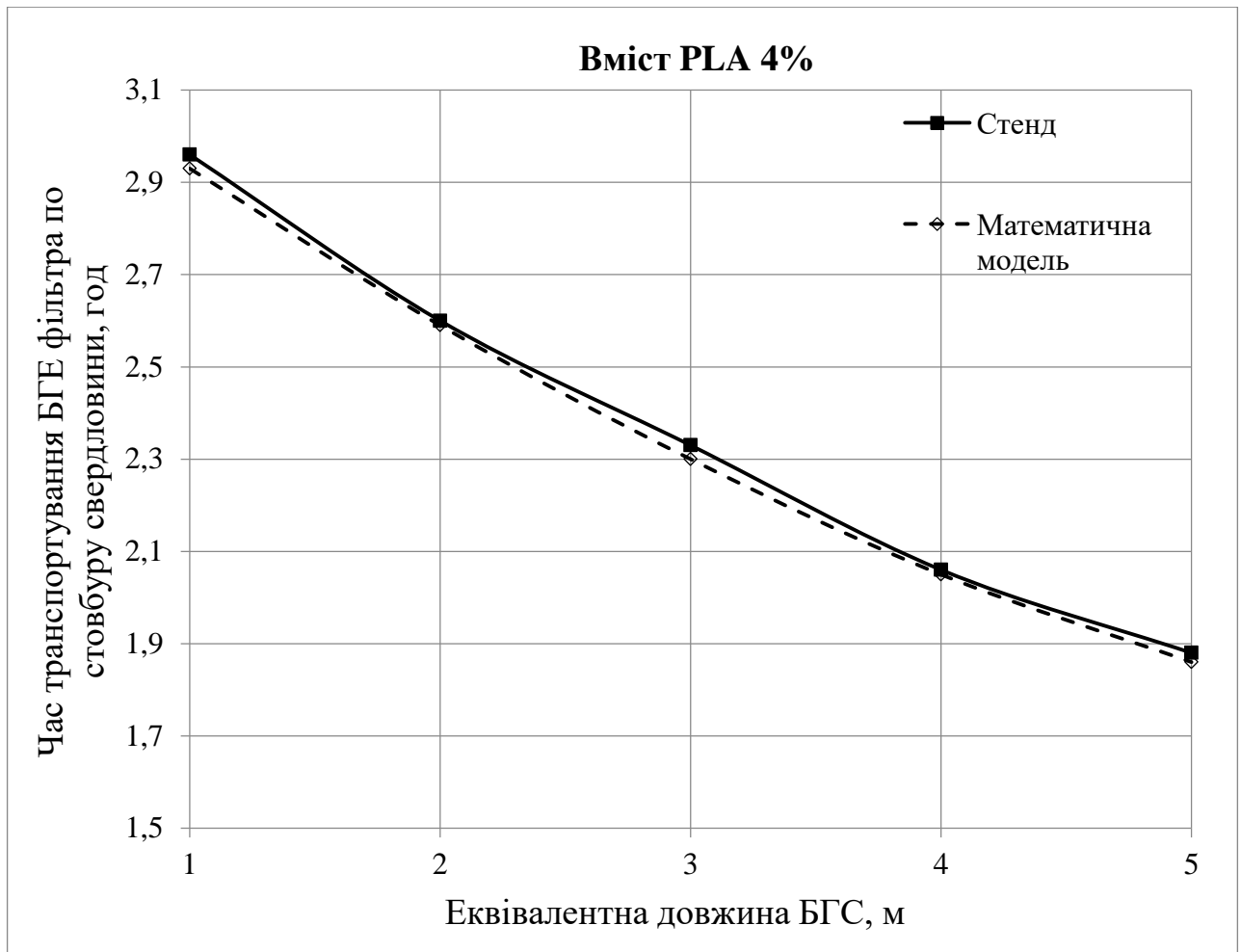


Рисунок 4.9 – Залежність часу спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

Для вмісту PLA 4 % (рис. 4.9) зменшення часу спуску зі збільшенням довжини БГС є найбільш вираженим. Це означає, що для низькоміцного композита збільшення осьового навантаження не лише зменшує допустиму глибину, а й суттєво скорочує ресурс часу, протягом якого елемент зберігає цілісність. Тобто руйнування тут має прискорений характер. Для вмісту PLA 8 % (рис. 4.10) часовий ресурс значно більший, а нахил кривої менший, що вказує на зростання стабільності структури композита. Для вмісту PLA 12 % (рис. 4.11) зменшення часу відбувається найповільніше, що ще раз підтверджує домінуючу роль водостійкості та високої вихідної міцності в забезпеченні працездатності БГЕ на великих глибинах.

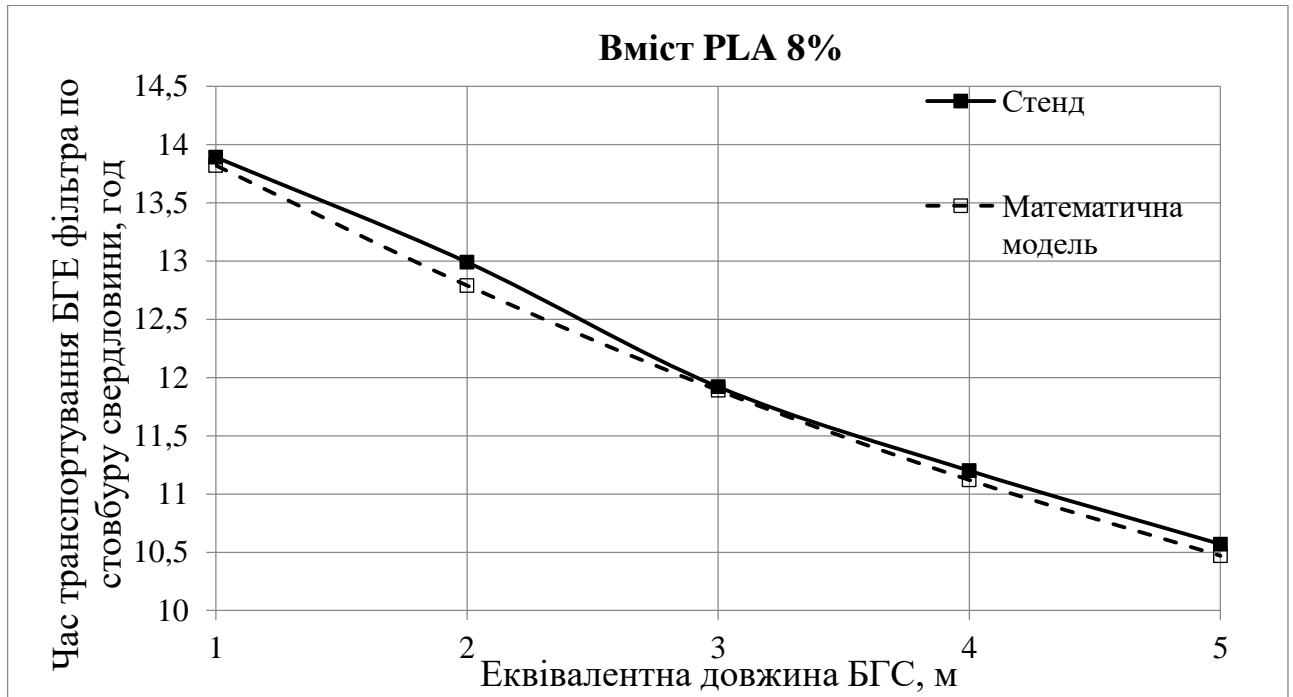


Рисунок 4.10 – Залежність часу спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

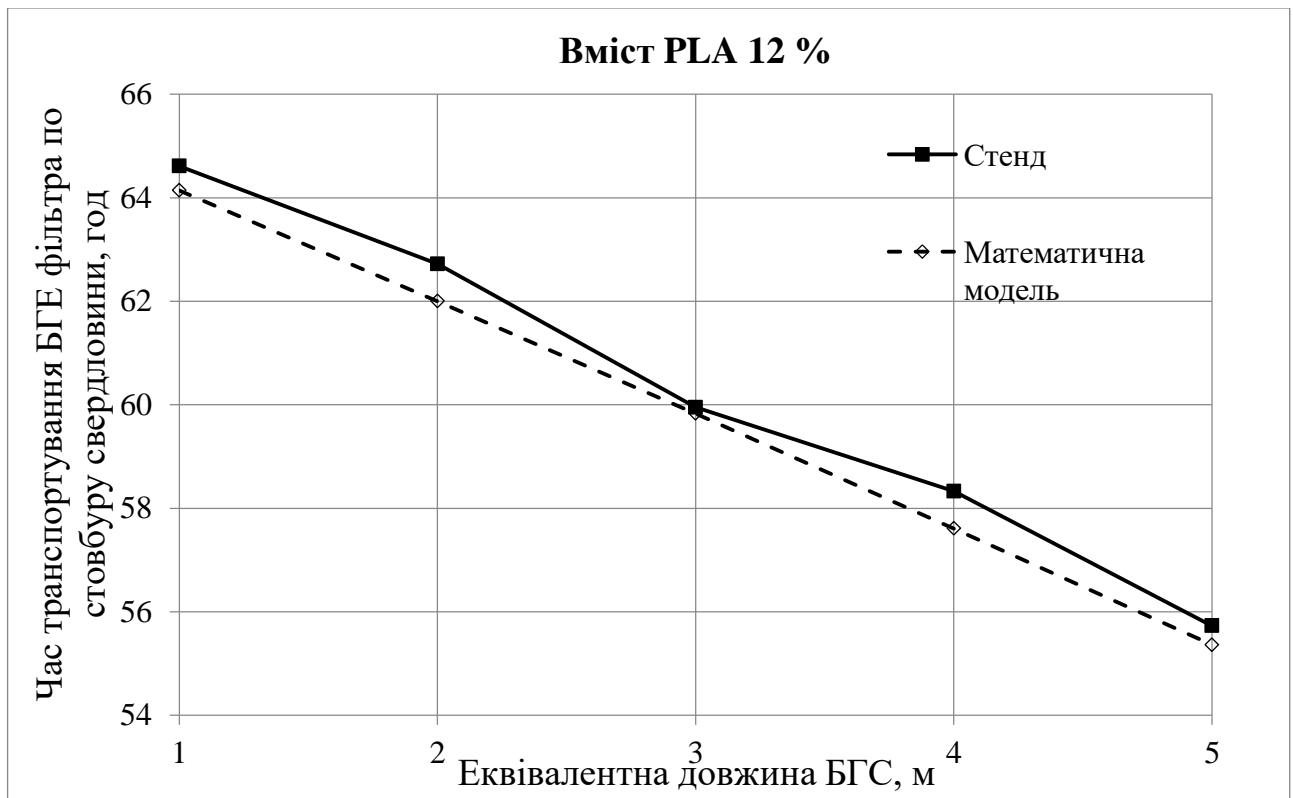


Рисунок 4.11 – Залежність часу спуску БГЕ від довжини БГС при $U_{БГЕ}=0,05$ м/с

Узагальнюючи результати аналізу таблиці 4.2 та графічних залежностей рис. 4.6 – 4.11, можна зробити висновок, що розрахункова модель не лише формально апроксимує стендові дані, а й відображає реальний фізичний зміст

процесу транспортування БГЕ по стовбуру свердловини. Встановлено, що основними чинниками, які визначають граничну глибину спуску, є масова концентрація PLA у композиті, величина осьового навантаження, а також час перебування БГЕ у водному середовищі. При низьких концентраціях PLA переважає механічний механізм руйнування, тоді як зі зростанням частки в'язучої речовини дедалі більшого значення набуває часовий фактор і швидкість деградації міцності у воді. Саме така зміна співвідношення впливових факторів пояснює суттєвий нелінійний приріст глибини транспортування при переході від вмісту 4 % до 8 % і 12 % PLA.

Запропонована модель може бути використана для інженерного обґрунтування параметрів блокового гравійного фільтра ще на етапі його проектування. Зокрема, вона дозволяє прогнозувати допустиму глибину транспортування БГЕ для заданої довжини блокової секції, вибрати раціональний вміст PLA залежно від глибини водоприймального інтервалу й оцінювати запас надійності при зміні навантаження. Це створює підґрунтя для цілеспрямованого підбору складу композита й режимів спуску фільтра та дає можливість перейти від емпіричного вибору до розрахунково обґрунтованого проектування технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами.

Результати математичного моделювання повністю підтверджують експериментально встановлені закономірності та доводять, що розроблена модель є адекватним і високоточним інструментом для оцінки умов транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру гідрогеологічної свердловини. Її використання дозволяє не лише пояснити механізм впливу основних технологічних факторів, а й забезпечує можливість прогнозування працездатності БГЕ для різних конструктивних і режимних параметрів, що є важливим науковим і прикладним результатом даного дослідження.

4.2.1 Область застосувань блокового гравійного фільтра гідрогеологічної свердловини

Аналіз результатів теоретичних, лабораторних та стендових досліджень, наведених у розділах 1 – 4 дисертаційної роботи, дозволяє обґрунтувати область ефективного застосування блокових гравійних фільтрів у гідрогеологічних свердловинах.

Встановлено, що запропонована технологія доцільна насамперед у складних гідрогеологічних умовах, де традиційні фільтрувальні системи не забезпечують необхідного рівня надійності та довговічності. До таких умов належать водоносні горизонти, складені пухкими та слабозцементованими породами (піски, піщано-гравійні суміші), які характеризуються низькою стійкістю та схильністю до інтенсивного піскування. У таких середовищах БГФ виконують одночасно функції фільтрації та механічної стабілізації прифільтрової зони, що підтверджено результатами аналізу геологічних передумов їх застосування.

Особливо ефективним є використання блокових гравійних фільтрів у свердловинах з неоднорідною гранулометричною будовою водоносного горизонту. Завдяки можливості формування гравійного композита із заданим зерновим складом забезпечується адаптація фільтраційних характеристик до конкретних геологічних умов. Це дозволяє створити стабільне фільтраційне середовище та зменшити ризик проникнення дрібнодисперсних частинок у водоприймальну частину свердловини.

Важливою областю застосування БГФ є свердловини з підвищеним рівнем фільтраційних водовтрат та активними гідродинамічними процесами. У таких умовах гравійна набивка, сформована в результаті розмонолічування біополімерного композита, виконує роль буферної зони, яка вирівнює потоки рідини та забезпечує стабільний режим фільтрації.

Результати лабораторних досліджень (розділ 3) показали, що біополімерний гравійний композит на основі PLA має достатню початкову міцність для транспортування по стовбуру свердловини й одночасно здатний до контрольованого зниження міцності у водному середовищі. Це забезпечує

реалізацію принципово нової технологічної схеми: транспортування фільтра у вигляді монолітних блоків з подальшим їх розмонолічуванням і формуванням класичної гравійної набивки безпосередньо у свердловині.

Стендові дослідження (розділ 4) підтвердили, що область застосування БГФ обмежується умовами, при яких забезпечується збереження цілісності біополімерного гравійного елемента під час транспортування до проектної глибини. Гранична глибина спуску залежить від концентрації PLA, навантаження та швидкості транспортування. Таким чином, технологія найбільш ефективна при:

- середніх та значних глибинах свердловин (де традиційна гравійна набивка ускладнена);
- контрольованих режимах спуску фільтрової колони;
- оптимально підібраній концентрації біополімерної в'язучої речовини (4 – 8 % як компроміс між міцністю та швидкістю розмонолічування).

Окрім гідрогеологічних свердловин, запропонована технологія може бути поширена на інші об'єкти буріння, зокрема:

- водозабірні свердловини систем централізованого водопостачання;
- свердловини для технічного водопостачання промислових підприємств;
- нафтові та газові свердловини у продуктивних інтервалах із нестійкими колекторами;
- свердловини для геотермальних систем та інженерної гідрогеології.

Область застосування блокових гравійних фільтрів охоплює широкий спектр гідрогеологічних умов, але їх максимальна ефективність досягається у складних геолого-технічних середовищах, де необхідне поєднання високої фільтраційної здатності, механічної стабільності та технологічної керованості процесу формування фільтра. Запропонована технологія є універсальним інструментом підвищення ефективності роботи свердловин та має значний потенціал для впровадження у практику буріння й експлуатації.

Отримані у розділі 4 результати стендових досліджень та розроблена математична модель показали, що гранична глибина спуску БГФ визначається сукупною дією таких факторів: міцності біополімерного гравійного композита,

швидкості транспортування, часу перебування у водному середовищі та навантаження від маси колони фільтра.

Встановлено, що для біополімерного гравійного композита з різною масовою концентрацією PLA характерні суттєво відмінні області допустимих глибин спуску. Так, при концентрації PLA 4 % забезпечується транспортування на обмежені глибини (до 100 – 300 м залежно від навантаження), що обумовлено інтенсивним зниженням міцності внаслідок розмонолічування. Для складів із вмістом PLA 8 % глибина транспортування зростає до 2000 – 2500 м, що дозволяє застосовувати такі фільтри у більшості експлуатаційних гідрогеологічних свердловин. При концентрації PLA 12 % і більше досягається максимальна глибина транспортування, яка може перевищувати 4000 – 5000 м, що відкриває можливості використання технології у глибоких свердловинах спеціального призначення.

Слід зазначити, що збільшення глибини спуску супроводжується зростанням часу перебування БГЕ у водному середовищі, що призводить до зниження його міцності. Тому при проектуванні технології обладнання свердловини необхідно забезпечувати раціональне співвідношення між швидкістю транспортування та складом біополімерного композита. Оптимальними є режими, при яких час спуску не перевищує критичного часу втрати несучої здатності матеріалу, визначеного за результатами лабораторних досліджень.

З урахуванням наведеного, область застосування блокових гравійних фільтрів за глибиною може бути сформульована таким чином:

- до 300 м – при використанні низьких концентрацій PLA (4 %), для неглибоких водозабірних свердловин;
- до 300 – 1200 м – при середніх концентраціях PLA (8 %), для більшості гідрогеологічних свердловин;
- понад 1200 м – при підвищених концентраціях PLA (12 – 16 %), для глибоких свердловин у складних геолого-технічних умовах.

Таким чином, врахування граничної глибини транспортування БГФ є ключовим фактором при визначенні області їх застосування, а запропонована

технологія дозволяє гнучко адаптувати конструкцію фільтра до конкретних умов експлуатації шляхом варіювання складу біополімерного композита та параметрів технологічного процесу.

Висновки до четвертого розділу

1. У четвертому розділі виконано комплексне експериментально-теоретичне обґрунтування технології транспортування біополімерного гравійного елемента блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини. Встановлено, що даний процес є складним багатофакторним явищем, яке визначається взаємодією механічних навантажень, гідродинамічного впливу потоку та часової деградації міцності біополімерного композита у водному середовищі.

2. За результатами стендових досліджень встановлено суттєвий вплив масової концентрації біополімерного в'язучого PLA на граничну глибину транспортування БГЕ. Визначено, що при вмісті PLA 4 % глибина становить 210 – 330 м, при вмісті PLA 8 % – 1180 – 1550 м, а при вмісті PLA 12 % – 6220 – 7210 м. Таким чином, збільшення вмісту PLA забезпечує кратно (до 20 разів) зростання допустимої глибини транспортування, що свідчить про нелінійний характер зміцнення структури композита.

3. Доведено, що збільшення довжини блокової гравійної секції, а отже і осьового навантаження, призводить до зменшення граничної глибини транспортування в середньому на 30 – 40 %. При цьому для низьких концентрацій PLA характерна підвищена чутливість до навантаження, що вказує на домінування механічного механізму руйнування, тоді як при вмісті PLA 12 % вплив навантаження є менш критичним.

4. Встановлено, що процес руйнування БГЕ має виражений часовий характер і визначається тривалістю перебування елемента у свердловинній рідині. Показано, що зі збільшенням концентрації PLA зростає не лише гранична глибина транспортування, але й час до руйнування (від 1,8 – 2,9 год

до 55 – 64 год), що свідчить про уповільнення процесів розмонолічування та підвищення водостійкості композита.

5. Розроблено математичну модель визначення максимальної глибини транспортування БГЕ, яка базується на умові досягнення граничного стану міцності з урахуванням осьового навантаження, гідростатичної та гідродинамічної дії, а також зниження міцності композита у водному середовищі. Введення коефіцієнта відповідності та геометричної поправки дозволило узагальнити результати для різних конструктивних і технологічних умов.

6. Підтверджено високу адекватність розробленої математичної моделі: відносна похибка між розрахунковими та експериментальними значеннями не перевищує 0,77 %, що свідчить про коректність прийнятих припущень і можливість використання моделі для інженерного прогнозування умов транспортування БГЕ.

7. Встановлено, що визначальними параметрами процесу транспортування є: масова концентрація в'язучої речовини PLA, величина осьового навантаження (довжина БГС) та час перебування БГЕ у водному середовищі. Показано, що зі збільшенням вмісту PLA відбувається перехід від переважно механічного механізму руйнування до комбінованого, в якому істотну роль відіграють фізико-хімічні процеси деградації полімерної матриці.

8. Доведено, що температурний фактор є додатковим обмеженням застосування блокових гравійних фільтрів. При температурах, близьких до температури склування PLA (55 – 65 °C), відбувається зниження міцності композита, що обмежує глибину ефективного транспортування та потребує коригування складу матеріалу.

9. Обґрунтовано області раціонального застосування технології за глибиною: до 300 м – для складів із вмістом PLA 4 %; до 1200 м – із вмістом PLA 8 %; понад 1200 м – із вмістом PLA 12 % і більше. Встановлено, що варіювання складу біополімерного композита дозволяє адаптувати технологію до конкретних геолого-технічних умов свердловини.

Розділ 5 ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН БЛОКОВИМИ ГРАВІЙНИМИ ФІЛЬТРАМИ

Виробничі випробування технології обладнання гідрогеологічних свердловин БГФ на стандартному буровому обладнанні комерційного підприємства ТОВ ПГГ «Дніпрогідробуд» у населеному пункті Вільногірськ проводилися у квітні 2026 року за участю бурового персоналу.

5.1 Методика дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром

Метою виробничих випробувань було визначення ефективності технології обладнання водозабірної частини гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром та економічної ефективності виконання робіт за запропонованою технологією.

Під час проведення випробувань вирішувалися такі завдання:

- визначення витрат на виготовлення дослідних зразків БГЕ фільтра;
- визначення витрат на обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром;
- визначення продуктивності свердловини;
- визначення економічних показників технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковим гравійним фільтром.

5.1.1 Геолого-технічні умови проведення виробничих випробувань

Виробничі випробування технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами проводилися в складних геолого-технічних умовах.

На ділянці «Вільногірськ» Дніпровського району було проведено геофізичні дослідження свердловини (рис. 5.1) для того, щоб визначити вміст порід і статичний рівень води.

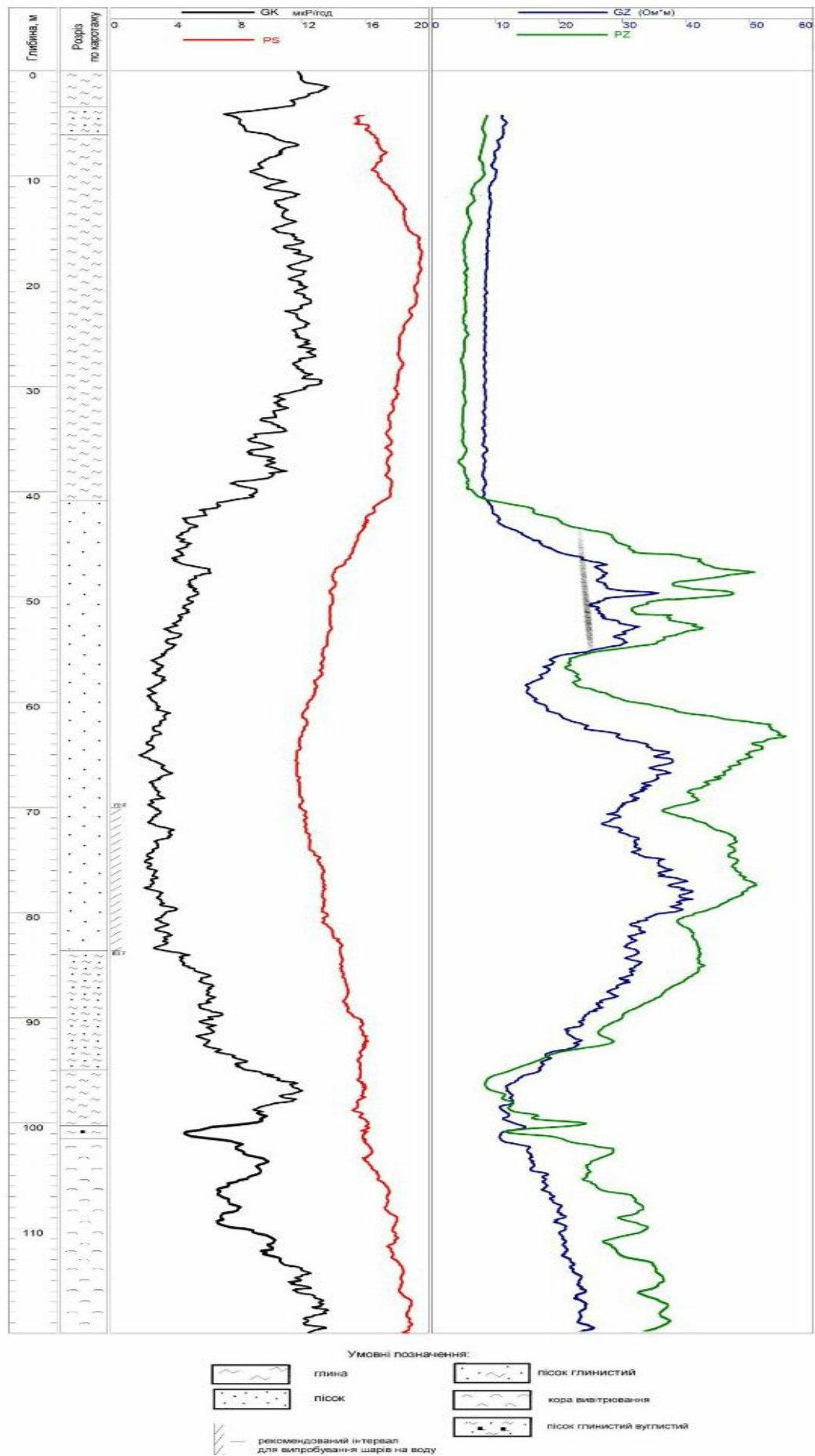


Рисунок 5.1 – Геофізичні дослідження та геологічний розріз свердловини

Ділянка проведення робіт розташована в межах поширення водоносних горизонтів неогенових відкладень.

У геологічній будові беруть участь породи кайнозою та докембрійського фундаменту (табл. 5.1). У верхній частині розрізу залягають четвертинні відкладення, представлені глинистими пісками потужністю до 6 м. Нижче, в інтервалі глибин 6 – 35 м, поширені глини четвертинно-неогенового віку.

З глибини близько 41 м відслонюються неогенові відкладення, представлені пісками різної зернистості, глинистими пісками та глинами. Піщані товщі в інтервалі 41 – 84 м характеризуються переважно дрібно- та середньозернистим складом. В інтервалі 84 – 95 м поширені глинисті піски, а на глибині 95 – 100 м залягають глини неогенового віку. У нижній частині розрізу, на глибині 100 – 101 м, зустрічаються глинисті піски з вугільними відкладеннями.

З кутовим і стратиграфічним неспівпаданням на породах осадового чохла залягає кора вивітрювання кристалічних порід докембрійського фундаменту, розкрита в інтервалі глибин 101 – 110 м.

Основним водоносним горизонтом, який використовується для цілей автономного водопостачання, є піщані відкладення неогенового віку.

Таблиця 5.1 – Геологічний розріз по свердловині

№ п/п	Геологічний вік породи	Короткий опис літологічного складу порід	Глибина залягання, м		Потужність горизонту, м
			від	до	
1	Q	Глина	0,0	3,0	3,0
2	Qal	Піски глинисті	3,0	6,0	3,0
3	Q-N	Неогенові глини	6,0	41,0	35,0
4	N ₁ ,N ₂	Піски	41,0	84,0	43,0
5	NPg	Піски глинисті	84,0	95,0	11,0
6	N ₂	Піски	95,0	100,0	5,0
7	NPg	Піски глинисті вуглисті	100,0	101,0	1,0
8	PR	Кора вивітрювання	101,0	110,0	9,0

Глибину свердловини прийнято рівною 101,6 м. Глибина залягання покрівлі водоносних пісків неогенового віку становить приблизно 41 м, товщина водоносного горизонту – близько 30 – 35 м (в інтервалі 60 – 90 м).

Водоносний горизонт є напірним, оскільки перекривається глинистими та глинисто-піщаними відкладами, що виконують роль водонепроникних шарів. Передбачуваний статичний рівень води становить 57 м від поверхні.

Очікуваний дебіт свердловини знаходиться в межах 3,5 – 7,3 л/с, що обумовлено хорошими фільтраційними властивостями піщаних відкладень неогенового віку.

Мінералізація підземних вод прогнозується в межах 0,3 – 1,5 г/дм³, загальна жорсткість – 2 – 6 ммоль/дм³, що відповідає водам прісного та слабомінералізованого типу.

Водоносний горизонт характеризується задовільним ступенем захищеності від поверхневого забруднення, оскільки перекритий товщею глини і глинистих пісків потужністю понад 41 м.

Буріння здійснювалося за допомогою установки УРБ-2А2.

Промивальна рідина – звичайний глинистий розчин.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0 – 52,0 м пробурено долотом діаметром 295,3 мм і перекрито обсадною колоною діаметром 219 мм. Колона зацементована з виходом розчину на поверхню.

Інтервал 52,0 – 101,6 м пробурено долотом діаметром 190,5 мм і обсаджено «впотай» фільтровою колоною діаметром 115 мм.

Статичний рівень води знаходиться на глибині 57 м.

Геофізичні дослідження (див. рис. 5.1) показали, що рекомендований інтервал для випробування шарів на воду – 70,02 – 83,7 м.

Проаналізувавши дослідження розвідувальної свердловини та вимоги замовника, було прийнято низку рішень для проєктування гідрогеологічної свердловини з блоковими гравійними фільтрами (рис. 5.2), а саме:

1. Установити обсадну колону на глибину 51 м, діаметр обсадної труби 219 мм.

У верхній частині відстійник обладнано перехідником, виготовленим на базі підприємства «Дніпрогидробуд». Верхня його частина виготовлена для приєднання робочої частини фільтрової колони із зовнішнім діаметром 115 мм. Нижня частина відстійника фільтрової колони обладнана зворотним клапаном із напрямною (рис. 5.3).



Рисунок 5.3 – Відстійник фільтрової колони

Робоча частина фільтрової колони виконана з пластикових труб із різьбовим з'єднанням із зовнішнім діаметром 115 мм і мала круглу перфорацію.

Довжина труб 3 м. Довжина свічки обмежена висотою щогли бурової установки УРБ-2А2 і становила 6,5 м. Водоприймальна поверхня фільтрової колони виконана з полімерної сітки, намотаної на перфоровану трубу і закріпленої металевим дротом. Зовнішній діаметр робочої частини фільтрової колони – 117 мм (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Фотографії пороцесу виготовлення водоприймальної частини для фільтрової колони

На робочу частину фільтрової колони встановлювали попередньо виготовлені фільтри БГЕ. Внутрішній діаметр БГЕ фільтра 118 мм, зовнішній – 185 мм (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Зовнішній БГЕ фільтра

Для даних геолого-технічних умов виробничих випробувань прийнято: сумарна довжина біополімерних гравійних елементів фільтра – 52,0 м; довжина біополімерного гравійного елемента фільтра – 0,2 м.

Для виготовлення біополімерних гравійних елементів фільтра використовувався неоднорідний, погано обкатаний гравій, придбаний у магазині «Епіцентр».

Між відстійником і робочою частиною фільтрової колони встановлено опору біополімерних гравійних елементів фільтра, яка мала зовнішній діаметр – 185 мм.

Довжина фільтрової колони становила 101,6 м.

Збірка та спуск фільтрової колони здійснювалися з положення «на винос».

Верх фільтрової колони знаходиться вище башмака обсадної колони на 2,6 м. Міжколонний простір герметизовано пакером.

Компонування фільтрової колони наведено в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Компонування фільтрової колони

Відстійник фільтрової колони:	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	1,60
Робоча частина фільтрової колони:	
зовнішній діаметр, м	0,117
довжина, м	18,0
Надфільтрова частина:	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	72,0
Підфільтрова частина	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	10,0

5.1.3 Визначені показники

Під час проведення виробничих досліджень визначалися:

- дебіт свердловини під час пробних відкачувань;
- рівень води у свердловині в процесі відкачування та після його відновлення;
- часові витрати на виконання технологічних операцій з виготовлення дослідних зразків БГЕ фільтра й обладнання БГФ водоносного горизонту гідрогеологічної свердловини;
- витрата матеріалів, енергоносіїв тощо.

5.1.4 Обробка даних виробничих випробувань

Обробка й оцінка результатів випробувань полягала в наступному. За результатами випробувань складався акт. В акті наводились дані про умови випробувань, результати випробувань, висновки та рекомендації щодо використання отриманих результатів.

Під час обробки результатів випробувань визначався:

- дебіт свердловини;
- величина зниження рівня води;
- питомий дебіт гідрогеологічної свердловини.

Критерієм ефективності застосування випробуваної технології є собівартість виконання технологічних операцій з облаштування БГФ гідрогеологічних свердловин порівняно зі стандартними технологіями. Результати оцінки техніко-економічних показників наведено в п. 5.2.9.

5.2 Результати дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами

Виготовлення дослідного зразка фільтра БГЕ, відповідно до запропонованої технології та розробленої методики виготовлення експериментального зразка, описаного в п. 2.3, здійснювалося на базі

підприємства за допомогою сушильної шафи. У загальному вигляді для виготовлення дослідних зразків фільтра БГЕ виконувалися такі технологічні операції:

- підготовка в'язучої речовини PLA LX175;
- підготовка та нагрівання суміші гравійного композита для виготовлення БГЕ фільтра;
- формування дослідних зразків БГЕ фільтра;
- процес ущільнення дослідних зразків БГЕ фільтра;
- вилучення дослідних зразків БГЕ фільтра;
- оцінка якості дослідних зразків БГЕ фільтра.

5.2.1 Підготовка циліндричних форм до виготовлення дослідних зразків фільтра БГЕ

Для виготовлення дослідних зразків фільтра БГЕ використовувалися циліндричні форми (рис. 5.5), які склалися з металевих труб із зовнішнім діаметром 185 мм та внутрішнім діаметром 118 мм.



Рисунок 5.5 – Фотографія форми для виготовлення БГЕ фільтра

5.2.2 Підготовка гравійного матеріалу

Підготовка гравійного матеріалу полягала у зважуванні гравійного матеріалу в кількості, необхідній для виготовлення першої партії дослідних зразків фільтра БГЕ. Кількість гравію розраховувалася виходячи з того, що на виготовлення 1 м дослідного зразка БГЕ фільтра необхідно, з урахуванням ймовірних втрат, приблизно 30 кг.

Гравійний матеріал додатково не оброблявся.

5.2.3 Підготовка в'язучої речовини PLA

Як в'язуча речовина використовувався полілактид PLA LX175. Полілактид був придатним до використання і не потребував попередньої підготовки.

Підготовка полілактиду PLA LX175 як в'язучої речовини проводилася тільки її зважуванням в кількості, достатній для виготовлення БГЕ фільтра з необхідною масовою концентрацією (рис. 5.6).

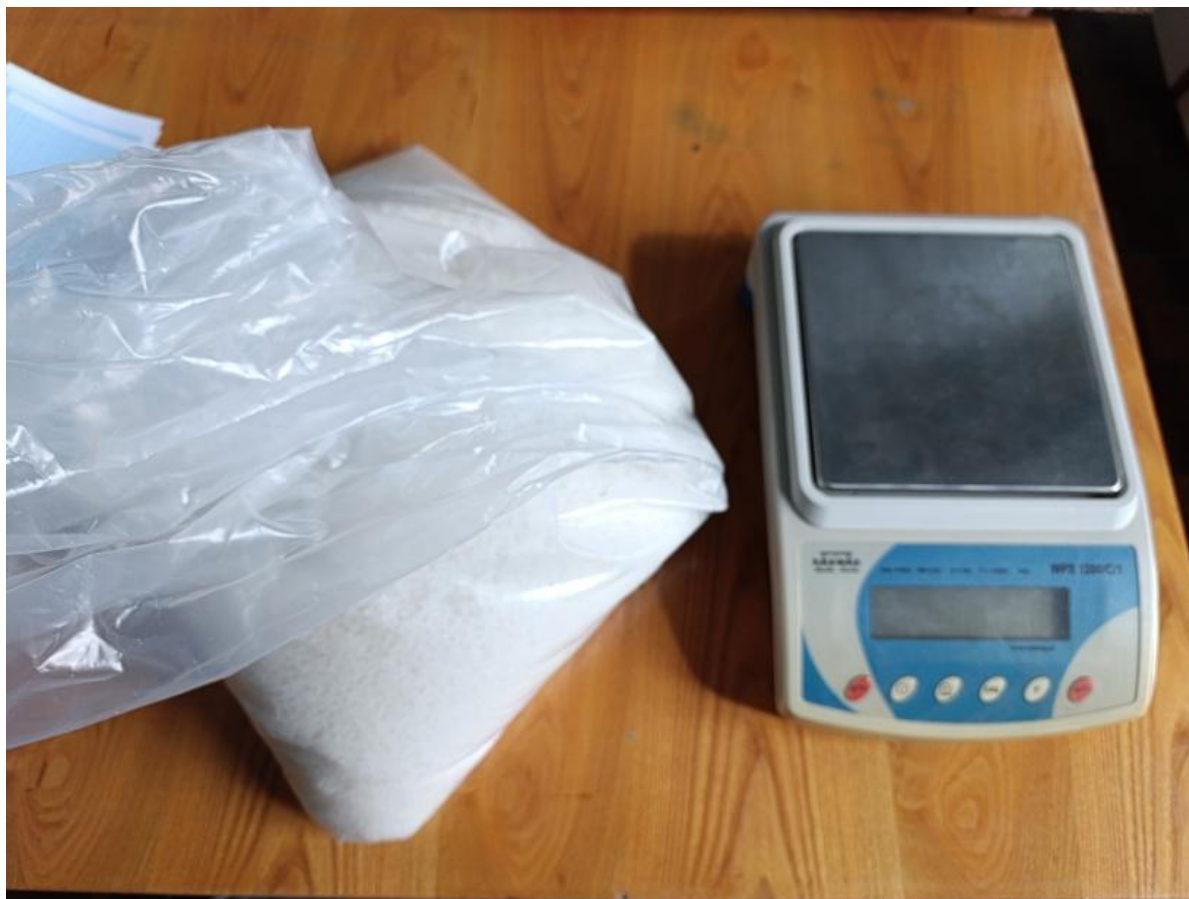


Рисунок 5.6 – Підготовка в'язучої речовини PLA до фасування

5.2.4 Підготовка гравійного композита та виготовлення БГЕ фільтра

Кількість гравійного матеріалу та в'язучої речовини для виготовлення дослідного зразка БГЕ фільтра довжиною 1 м визначалася за таблицею 5.3.

Таблиця 5.3 – Маса речовин, необхідних для виготовлення БГЕ фільтра довжиною 1 м

Гравій, г	PLA LX175, г	Масова концентрація PLA у БГЕ фільтра, %
30000	1250	4
30000	2600	8
30000	4090	12
30000	5710	16

Процес приготування тривав 40 – 60 хв, в'язучу речовину PLA LX175 змішували з гравієм та нагрівали до температури $+240...+260^{\circ}\text{C}$, перемішуючи композит до отримання однорідної маси (рис. 5.7)



Рисунок 5.7 – Процес приготування композита

5.2.5 Створення дослідного зразка БГЕ фільтра

Створення дослідного зразка БГЕ фільтра здійснювалося таким чином:

1. У радіальний простір форми БГЕ фільтра, встановленої на площині, засипали розігріту суміш композита (рис. 5.8).



Рисунок 5.8 – Формування дослідного зразка БГЕ фільтра

2. Щоб запобігти утворенню порожнин, композит пресували на вібростолі.

3. Форму засипали повністю на всю висоту

4. Після пресування охолоджували металеву форму з БГЕ фільтра до кімнатної температури.

5. Після завершення формування з металевих форм виймали БГЕ фільтра та проводили кондиціонування дослідних зразків протягом 24 год.

5.2.6 Оцінка якості виготовленого дослідного зразка БГЕ фільтра

Після виготовлення дослідного зразка БГЕ фільтра з форми проводився його візуальний огляд.

Оцінку якості робили з метою виявлення відсутності в елементі порожнин, тріщин та пустот. Наявність таких виробничих дефектів у елементі є неприпустимою (рис. 5.9).

Виготовлені дослідні зразки БГЕ фільтра не мали дефектів.



Рисунок 5.9 – Приклад якісного формування БГЕ фільтра

5.2.7 Порядок проведення виробничих випробувань

На свердловині виробничі випробування проводилися з урахуванням конкретних умов розташування ділянки робіт, глибини свердловини та використовуваного обладнання.

Порядок виконання робіт:

– на ділянці проведення робіт розміщувалося технологічне обладнання для буріння свердловини, а саме виготовлення дослідних зразків здійснювалося

на базі підприємства з подальшим їх підвезенням на ділянку проведення робіт (рис. 5.10);



Рисунок 5.10 – Підготовка БГЕ фільтра для спуску у свердловину

– після цементування обсадної колони підвозили виготовлені зразки БГЕ фільтра розрахункової довжини;

– після розкриття водоносного горизонту та його промивання здійснювали складання БГФ. Процес складання полягав у з'єднанні БГЕ фільтра з робочою частиною фільтрової колони, а також установленні нижнього та верхнього хомутів. Час складання фіксувався в журналі;

– після складання БГФ його транспортували по стовбуру свердловини й опускали у водоприймальну частину свердловини. Час спуско-підймальних операцій (СПО) фіксували в журналі;

– після встановлення БГФ у водоприймальну частину та пакерів проводили промивання свердловини через фільтрову колону (рис. 5.11). Для цього у внутрішню порожнину фільтрової колони опускали бурильну колону, а потоком чистої технічної води відбувалось видалення піщаних частинок з фільтра;

– останнім етапом робіт було пробне відкачування, яке здійснювалося опускним насосом, що входить до складу бурового комплексу, який знаходиться на ділянці проведення робіт. Час промивання та пробних відкачувань, дебіт свердловини, статичний і динамічний рівень фіксувалися в журналі виробничих випробувань.



Рисунок 5.11 – Промивання свердловини через фільтрову колону

5.2.8 Результати виробничих випробувань технології обладнання гідрогеологічної свердловини БГФ

Було проведено одне випробування технології виготовлення БГФ й обладнання ним водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини, глибина якої становила 101,6 м.

Спорудження свердловини здійснювалося у весняний період.

Середньодобова температура повітря у весняні місяці перебувала в

діапазоні від +2 °С до +8 °С. Температура свердловинної рідини становила +10 °С.

Роботи з виготовлення БГФ проводилися після затвердження проекту спорудження гідрогеологічної свердловини на даній ділянці. Матеріали та їх кількість, витрачені на виготовлення БГФ, наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Матеріали, витрачені на виготовлення БГФ

Довжина БГФ, м	52
Маса гравію, т	1,56
Маса в'язучої речовини, кг	135,2

У результаті отримано:

- середня маса БГЕ фільтра – 31,2 кг;
- масова концентрація PLA – 8 %;
- товщина гравійного шару БГЕ фільтра – 32 мм.

За допомогою муфт на бурильних колонах здійснювалося транспортування БГФ по стовбуру свердловин із встановленням їх у водоприймальну частину.

Під час транспортування ускладнень не спостерігалось. Башмак фільтрових колон встановлено на проектних глибинах.

Після перевірки щупом рівня гравію у свердловинах надфільтрові частини колон герметизувалися пакером з подальшим промиванням свердловини технічною водою. Час промивання склав 3 – 4 год.

Під час випробування технологій виготовлення й обладнання БГФ гідрогеологічних свердловин проводили хронометраж часу технологічних операцій, результати якого наведено в табл. 5.5.

З таблиці 5.5 видно, що час, витрачений на підготовку БГФ до його транспортування по стовбуру свердловини, становив 140 – 150 хв, що дорівнює 0,29 – 0,31 ст. зм за 8-годинну зміну. З огляду на те, що підготовчий період до транспортування БГФ здійснювався під час промивання свердловини, то він не є істотним і на економічні показники не впливає.

З таблиці 5.5 випливає, що зі збільшенням висоти щогли можна скоротити час на транспортування БГФ по стовбуру свердловини на 30 – 40 %.

Таблиця 5.5 – Витрати часу на виконання технологічних операцій, пов'язаних з облаштуванням водоносних горизонтів БГФ

Бурова установка	УРБ-2,5А
Час доставки БГЕ на бурову площадку, хв	87
Час складання БГФ, хв	52
Довжина труби фільтрової колони, м	3
Середній час спуску труби фільтрової колони, с	10
Час нарощування фільтрової колони, хв	7
Довжина свічки бурильних труб, м	6
Середній час спуску свічки бурильних труб у свердловину, с	12
Середній час нарощування бурильної колони, хв	2
Середній час транспортування БГФ по стовбуру свердловини, хв	42,5

На завершальному періоді спорудження свердловини було здійснено пробне відкачування пластових вод. У його початковий період спостерігалось незначне піскування свердловини, але через 3 – 4 год вода повністю очистилася, а ще через 5 – 8 год піскування припинилося.

Під час пробних відкачувань були визначені дебїти та рівні рідини у свердловині. Результати наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Дебїт та рівень рідини в свердловині

Дебїт свердловини, м ³ /год	7,2
Статичний рівень, м	57
Динамічний рівень, м	85
Питомий дебїт, м ³ /м · год	0,25

5.2.9 Економічна ефективність виконаних робіт з обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами

Техніко-економічна ефективність спорудження гідрогеологічних свердловин значною мірою визначається витратами часу та фінансових ресурсів, необхідних для виконання робіт із їх буріння й оснащення фільтраційними системами. Водночас вибір технології формування гравійного фільтра істотно впливає на організацію бурових процесів, режим промивання, а також на обсяг використання матеріалів.

Перед проведенням кількісної оцінки доцільним є виконання якісного аналізу порівнюваних технологічних рішень. У практиці спорудження свердловин найбільш поширеними є два підходи до створення гравійних фільтрів: попередньо виготовлені на поверхні з подальшим спуском у свердловину (опускні), а також такі, що формуються безпосередньо у вибійному інтервалі (намивні). З огляду на це, як базовий варіант для подальшого техніко-економічного зіставлення обрано технологію намивного типу.

Для обґрунтованого порівняння зазначених технологій доцільно виділити ключові чинники, що формують собівартість їх застосування (табл. 5.7). При цьому в аналізі не враховуються витрати, пов'язані безпосередньо з процесом буріння, оскільки вони приймаються однаковими для обох варіантів. Безумовно, на загальні витрати спорудження свердловини можуть впливати такі параметри, як географічні умови розташування, глибина та діаметр свердловини, тип бурового інструменту, характеристика промивальних рідин і реагентів, конструкція свердловини та використовуване обладнання. Проте в межах даного дослідження ці фактори вважаються сталими, оскільки основна увага зосереджена саме на порівняльній оцінці технологій облаштування гравійних фільтрів.

З табл. 5.7 видно, що більшість позитивних факторів притаманна запропонованій технології.

При визначенні економічної ефективності порівнюваних технологій обладнання гідрогеологічних свердловин однакові витрати не враховувалися.

Таблиця 5.7 – Якісний аналіз техніко-економічних показників технології створення гравійних фільтрів у гідрогеологічних свердловинах

Витрата часу та коштів	Базова технологія	Пропонована технологія	Примітка
1. Транспортування гравію з родовища на базу підприємства	0	0	Витрати рівноцінні
2. Зберігання гравію на базі підприємства	0	0	Витрати рівноцінні
3. Транспортування гравію (БГФ) та фільтрової колони з бази на бурову	0	0	Витрати рівноцінні
4. Виготовлення БГЕ фільтра	+	-	За існуючими технологіями роботи з гравієм не здійснюються. За запропонованою технологією необхідно витратити додаткові 0,25 ст.зм на виготовлення БГЕ фільтра
5. Збірка каркаса фільтрової колони (або БГФ) в умовах бурової	+	-	Незначне збільшення часу за рахунок вилучення БГЕ фільтра з форм та монтажу БГЕ на каркасі фільтрової колони
6. Промивання свердловини	-	+	У запропонованій технології каверна не потрібна, видалення лише глинистої кірки. Скорочення витрат у 3 – 4 рази
7. Доставка каркаса фільтрової колони або БГФ у продуктивний горизонт свердловини	0	0	Витрати рівноцінні
8. Доставка гравійного матеріалу в продуктивний горизонт свердловини	-	X	У запропонованій технології операція відсутня. У стандартній може бути витрачено 0,15 - 0,25 ст. зм залежно від обсягу гравію та глибини свердловини
9. Від'єднання засобів доставки та приведення гравійного фільтра в робочий стан	0	0	Витрати рівноцінні
10. Час, витрачений на освоєння бурової свердловини	-	+	Істотне зниження часових витрат за рахунок підвищення якості гравійного обсіпання
11. Витрата гравійного матеріалу	-	+	Знижується на порядок за рахунок розрахунку достатньої кількості, виготовлення БГФ на денній поверхні та відсутності каверн
12. Експлуатаційна характеристика бурових свердловин	-	+	За рахунок підвищення якості гравійного обсіпання, збільшення міжремонтного періоду та терміну служби свердловин

Примітка:

де + - зниження матеріальних витрат;

— - збільшення матеріальних витрат;

X - операція відсутня;

0 - витрати є рівноцінними.

Економічний ефект E від впровадження нової технології розраховувався виходячи з формули

$$E = C^b - C^n, \quad (5.1)$$

де C^b і C^n - собівартість обладнання гравійними фільтрами, відповідно базовим та запропонованим методами, тис. грн.

У загальному випадку собівартість C^b базової технології визначається як

$$C^b = C_{п.в.}^b + C_B^b + C_{в.в.}^b + C_{г.}^b + C_{г.тр.}^b + C_{д.в.}^b, \quad (5.2)$$

де $C_{п.в.}^b$ - вартість часу промивання свердловини водою, видалення глинистої кірки, утворення каверни, тис. грн;

$C_{в.}^b$ - вартість води, необхідної для заміщення розчину, промивання свердловини, створення каверни, тис. грн;

$C_{в.в.}^b$ - вартість відвезення відпрацьованої води, тис. грн;

$C_{г.}^b$ - вартість гравію, що витрачається при базовій технології, тис. грн;

$C_{г.тр.}^b$ - вартість часу, що витрачається на засипку через устя та транспортування гравію по стовбуру свердловини, тис. грн;

$C_{д.в.}^b$ - вартість часу дослідних відкачувань, тис. грн;

Собівартість C^n пропонованої технології визначається як

$$C^n = C_{п.к.}^n + C_{е.н.}^n + C_{г.}^n + C_{п.}^n + C_{п.в.}^n + C_B^n + C_{в.в.}^n + C_{д.в.}^n \quad (5.3)$$

де $C_{п.к.}^n$ - вартість часу, витраченого персоналом на приготування біополімерного гравійного композита, формування, розбирання форм, вилучення БГЕ фільтра та доставки його на буровий майданчик, тис. грн;

$C_{е.н.}^n$ - вартість енергоносіїв, витрачених на приготування та монолітизацію БГЕ фільтра, тис. грн. Визначається як

$$C_{е.н.}^n = C_{е.е.} \quad (5.4)$$

де $C_{e.e}$ – вартість електроенергії, витраченої сушильною шафою, 6,2 кВт/год за 1 год омонолічування БГЕ фільтра, тис. грн;

C_z^n – вартість гравію, витраченого за пропонованою технологією, тис. грн;

C_n^n – вартість PLA, витраченого для приготування БГЕ фільтра, тис. грн;

$C_{n.v.}^n$ – вартість часу промивання свердловини водою, видалення глинистої кірки, тис. грн;

$C_{v.}^n$ – вартість води, необхідної для заміщення розчину, промивання свердловини, тис. грн;

$C_{v.v.}^n$ – вартість вивезення відпрацьованої води за тих самих умов, тис. грн;

$C_{d.v.}^n$ – вартість часу дослідних відкачувань, тис. грн.

Порівняльні витрати часу та коштів за базовою та пропонованою технологією обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин, залежно від ділянки проведення робіт, наведено в табл. 5.8: Вартість матеріалів та енергоносіїв прийнято станом на квітень 2026 р. Вартість 8-годинної станко-зміни $C_{ст.зм} = 15,0$ тис. грн.

У результаті оцінки економічної ефективності виконання робіт на ділянці м. Вільногірськ табл. 5.8 встановлено, що:

- технологія виготовлення БГФ фільтра дозволила зменшити витрату гравійного матеріалу в 3 рази;

- технологія обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини БГФ за геолого-технічних умов дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу;

- економічний ефект від застосування технології обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини БГФ склав 34,45 тис. грн.

Таблиця 5.8 Вихідні дані та розрахунок економічної ефективності технологій обладнання БГФ гідрогеологічної свердловини, пробуреної на ділянці «Вільногірськ»

Базова технологія			Пропонована технологія		
Показник	Тривалість операцій, ст. зм	Вартість, тис. грн	Показник	Тривалість операцій, ст. зм	Вартість, тис. грн
-	-	-	$C_{п.к.}^n$	1,82	27,30
-	-	-	$C_{е.н.}^n$	-	0,032
$C_{п.в.}^o$	1,5	22,50	$C_{п.в.}^n$	0,50	7,50
$C_{в.в.}^o$	-	7,29	$C_{в.в.}^n$	-	0,81
$C_{з.з.}^o$	-	5,67	$C_{з.з.}^n$	-	0,81
$C_{з.}^o$	-	37,44	$C_{з.}^n$	-	12,48
-	-	-	C_n^n	-	9,93
$C_{з.мп}^o$	0,5	7,50	-	-	-
$C_{д.в.}^o$	1,5	22,50	$C_{д.в.}^n$	0,63	9,40
Всього C^o	4,0	102,90	Всього C^n	2,95	68,55

Аналіз даних, наведених у табл. 5.8, показує, що застосування технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковими гравійними фільтрами є економічно доцільним порівняно з базовим наливним способом. Незважаючи на наявність додаткових витрат, пов'язаних із виготовленням біополімерних гравійних елементів та використанням в'язучої речовини PLA, загальні витрати зменшуються за рахунок суттєвого скорочення витрат гравійного матеріалу, зниження тривалості та вартості промивання свердловини, а також відсутності операцій транспортування гравію в продуктивний горизонт. У результаті забезпечується зменшення сумарних витрат часу і коштів, що формує позитивний економічний ефект та підтверджує ефективність впровадження запропонованої технології в умовах ділянки «Вільногірськ».

Висновки до п'ятого розділу

1. У результаті проведених дослідно-промислових випробувань підтверджено технологічну можливість та ефективність застосування блокових гравійних фільтрів для обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних

свердловин у складних геолого-технічних умовах, зокрема за наявності глинистих порід у водоносних горизонтах.

2. Встановлено, що запропонована технологія виготовлення біополімерних гравійних елементів на основі PLA LX175 забезпечує отримання якісних, однорідних і бездефектних фільтрувальних елементів, що відповідають вимогам до експлуатаційної надійності та механічної міцності.

3. За результатами випробувань доведено, що процес транспортування та встановлення БГФ у свердловині здійснюється без ускладнень, забезпечує точне позиціонування у заданому інтервалі та не потребує додаткових технологічних операцій, характерних для традиційних наливних фільтрів.

4. Експлуатаційні показники дослідної свердловини підтверджують високу ефективність застосування БГФ: отримано дебіт 7,2 м³/год при питомому дебіті 0,25 м³/(м·год), що свідчить про достатню фільтраційну здатність та якість формування фільтрувальної зони.

5. Встановлено, що застосування БГФ дозволяє значно скоротити тривалість технологічних операцій, пов'язаних із облаштуванням водоносного горизонту, зокрема за рахунок:

- виключення операції наливу гравійного матеріалу;
- зменшення тривалості промивання свердловини;
- оптимізації процесу освоєння свердловини.

6. Доведено, що підготовчі операції з виготовлення та монтажу БГЕ фільтра не мають суттєвого впливу на загальну тривалість спорудження свердловини, оскільки виконуються паралельно з іншими технологічними процесами.

7. За результатами техніко-економічного аналізу встановлено, що запропонована технологія:

- зменшує витрати гравійного матеріалу приблизно у 3 рази;
- скорочує непродуктивні витрати часу;
- виключає низку енерго- та матеріаломістких операцій (створення каверни, транспортування гравію по стовбуру свердловини).

8. Показано, що основними економічними перевагами технології є зниження витрат на воду, енергоносії та транспортування матеріалів, а також підвищення ефективності використання робочого часу бурової установки.

9. Встановлено, що економічний ефект від впровадження технології обладнання свердловин блоковими гравійними фільтрами є позитивним і визначається сукупністю зниження матеріальних та часових витрат при одночасному підвищенні якості фільтрувальної системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, у якій на підставі аналітичних, лабораторних, стендових та виробничих досліджень вирішено актуально наукове завдання, яке полягає у розробленні технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами із застосуванням біополімерного в'язучого на основі PLA, що забезпечує підвищення якості гравійних фільтрів і призводить до економії матеріальних ресурсів, скорочення термінів спорудження і вартості гідрогеологічних свердловин.

Основні наукові та практичні результати, висновки і рекомендації щодо виконаних досліджень, полягають у наступному:

1. Виконано аналіз сучасних конструкцій фільтрів гідрогеологічних свердловин та встановлено, що традиційні сітчасті, щілинні й перфоровані фільтри в умовах пухких пісків та неоднорідних водоносних порід не забезпечують необхідної ефективності роботи свердловин через процеси піскування, кольматування та зниження дебіту. Обґрунтовано доцільність використання блокових гравійних фільтрів як засобу стабілізації привибійної зони свердловини.

2. Обґрунтовано та запропоновано технологію обладнання гідрогеологічних свердловин, яка базується на попередньому омонолічуванні гравійного матеріалу біополімерною в'язучою речовиною з подальшим його розмонолічуванням у свердловинних умовах.

3. Обґрунтовано склад біополімерного гравійного композита та визначено вплив масової концентрації PLA і гранулометричного складу гравію на його фізико-механічні та гідравлічні властивості. Встановлено, що зі збільшенням концентрації PLA від 4 % до 16 % межа міцності на одноосьове стиснення для зразків із фракцією гравію 0,5 – 0,75 мм зростає від 13,6 МПа до 65,95 МПа, що забезпечує необхідну механічну стійкість блокового гравійного фільтра під час транспортування по стовбуру свердловини. Одночасно встановлено, що збільшення концентрації PLA призводить до зниження пористості композита

від 28,3 % до 3,6 %, проникності – від 1907 мД до 1,9 мД та коефіцієнта фільтрації – від 35,1 м/добу до 0,1 м/добу.

4. Проведені стендові дослідження процесу транспортування біополімерного гравійного елемента фільтра по стовбуру свердловини показали, що гранична глибина спуску визначається комплексною дією масової концентрації PLA, довжиною блокової гравійної секції та часом перебування фільтра у водному середовищі. Встановлено, що при збільшенні довжини блокової гравійної секції від 1 м до 5 м допустима глибина транспортування для БГЕ фільтра з концентрацією PLA 4 % зменшується від 330 м до 210 м, для PLA 8 % – від 2510 м до 2050 м, а для PLA 12 % – від 5210 м до 4220 м. Доведено, що зі збільшенням концентрації PLA суттєво підвищується стійкість блокового гравійного елемента до дії механічних та гідродинамічних навантажень під час транспортування по стовбуру свердловини, а збільшення довжини блокової гравійної секції призводить до зростання осьового навантаження та зменшення допустимої глибини спуску фільтра.

5. Розроблено математичну модель визначення допустимої глибини транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини, яка враховує фізико-механічні характеристики біополімерного гравійного композита, осьове навантаження, гідродинамічну дію свердловинної рідини та конструктивні параметри фільтра. За результатами розрахунків встановлено, що при збільшенні еквівалентної довжини блокової гравійної секції від 1 м до 5 м допустима глибина транспортування зменшується: для БГЕ з вмістом PLA 4 % – з 329,7 м до 209,7 м; для PLA 8 % – з 1554,3 м до 1178,3 м; для PLA 12 % – з 7215,7 м до 6227,7 м. Відносна похибка між розрахунковими та стендовими значеннями не перевищує 0,77 %, що підтверджує адекватність моделі та можливість її використання для прогнозування граничних режимів транспортування БГФ у свердловині.

6. Визначено область застосування блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин залежно від глибини встановлення та масової концентрації біополімерної в'язучої речовини PLA. Встановлено, що БГФ з концентрацією PLA 4 % доцільно застосовувати у неглибоких водозабірних

свердловинах глибиною до 300 м; з концентрацією PLA 8 % – у більшості гідрогеологічних свердловин глибиною 300 – 1200 м; з концентрацією PLA 12 – 16 % – у глибоких свердловинах понад 1200 м, які споруджуються у складних геолого-технічних умовах.

7. Виконані дослідно-промислові випробування підтвердили працездатність запропонованої технології в реальних умовах буріння. Встановлено, що застосування блокових гравійних фільтрів забезпечує стабільний дебіт свердловини, зменшення піскування та підвищення надійності роботи водозабірної частини.

8. Проведена техніко-економічна оцінка показала, що впровадження розробленої технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими гравійними фільтрами дозволяє знизити експлуатаційні витрати видобутку води за рахунок підвищення якості їх очищення від механічних домішок, при цьому збільшується термін експлуатації свердловини, її міжремонтний період, ресурс насосного обладнання. Встановлено, що за геолого-технічних умов ділянки «Вільногірськ» технологія виготовлення БГФ дозволили зменшити витрату гравійного матеріалу у 3 рази, скоротити непродуктивні витрати часу на 1,05 ст.зм. і забезпечити економічний ефект у розмірі 34,45 тис. грн, що підтверджує економічну ефективність та практичну доцільність впровадження розробленої технології.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шестопалов В.М. (2016). Підземні води України. Київ: Наукова думка, 2016. 456 с.
2. Шестопалов В.М., Лялько В.І., Огняник М.С. та ін. (2015). Гідрогеологічне районування території України. Мінеральні ресурси України. 2015. № 2. с. 3–12.
3. Державна служба геології та надр України. Гідрогеологічні умови України та ресурси підземних вод. 2021. Київ, 2021. 120 с.
4. Інститут геологічних наук НАН України. Сучасний стан і перспективи використання підземних вод України. Геологічний журнал. 2020. № 3. с. 45–58.
5. Огняник М.С. (2014) Формування хімічного складу підземних вод України. Геологічний журнал. 2014. № 2. с. 78–90.
6. Яковлєв Є.О. (2018). Використання підземних вод для питного водопостачання в Україні. Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету. 2018. № 4. с. 112–118.
7. Гавриленко О.М. (2017). Гідрогеологічні умови формування ресурсів підземних вод України. Наукові праці УкрДГРІ. 2017. № 1. С. 25–34.
8. Mammadov, S., Luhovyi, S., Starodubets, O., Kalynychenko, H. & Trybrat, R. (2024). Collateral ecocide. The impact of war on Ukrainian flora and fauna, *International Journal of Environmental Studies* 81, 1, 1446-454. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314851>
9. Napich, H. & Onopriienko, D. (2024). Ecology and economics of irrigation in the south of Ukraine following destruction of the Kakhov reservoir. *International Journal of Environmental Studies* 81(1), 301-314. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314859>
10. Napich, H., Novitskyi, R., Onopriienko, D., Dent, D. & Roubik, H. (2024a). Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security* 21, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>
11. Andrieiev, V., Napich, H., Kovalenko, V., Yurchenko, S., & Pavlychenko, A. (2022). Efficiency assessment of water resources management and use by

simplified indicators. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 148–152. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/148>

12. Napich, H., Zahrytsenko, A., Sudakov, A., Pavlychenko, A., Yurchenko, S., & Sudakova, D. (2024). Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*, 81(2), 289–300. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296781>

13. Кондрат Р. М., Матіїшин, Л. І. (2023). Дослідження впливу гравійного фільтра у перфорованій експлуатаційній колоні на продуктивну характеристику свердловини. (репозитарій ІФНТУНГ). Електронний ресурс – <https://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/9285>

14. Войтенко В. С., Вітрик В. Г., Яремійчук Р. С., Яремійчук Я. С. (2012). Технологія і техніка буріння: узагальнююча довідникова книга. Львів : Центр Європи, 708 с. ISBN 979-966-964-000-5.

15. ДСТУ 41-00 032 626-00-007-97. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Правила проведення робіт.

16. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154867 Україна: Е21В 43/08. – № u202302211; заявл. 11.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1777394/>

17. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2024). Блоковий гравійний фільтр: пат. № 155090 Україна: МПК Е21В 43/08. – № u202302247; заявл. 12.05.2023; опубл. 17.01.2024, Бюл. № 3. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780432/>

18. Судаков, А.К., Шумов, А.С. (2024). Гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. № 156359 Україна: МПК Е21В 43/08. – № u202306074; заявл. 14.12.2023; опубл. 12.06.2024, Бюл. № 24. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1804797/>

19. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154865 Україна: E21B 43/08. – № u202302200; заявл. 09.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1795113/>

20. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154866 Україна: E21B 43/08. – № u202302225; заявл. 10.05.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1795112/>

21. Павличенко, А.В., Судаков, А.К., Загриценко, А.М., Лубан, С.В., Лубан, Ю.В., Шумов, А.С. (2023). Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154868 Україна: E21B 43/08. – № u202401784; заявл. 12.05.2023; опубл. 18.12.2024, Бюл. № 51/2024 URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1833309/>

22. Судаков, А.К., Павличенко, А.В., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2025). Блоковий гравійний фільтр бурових свердловин: пат. 159896 Україна: E21B 43/08. – № u202405947; заявл. 16.12.2024; опубл. 16.07.2025, Бюл. № 29/2025 URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1866402/>

23. Судаков, А.К., Павличенко, А.В., Загриценко, А.М., Шумов, А.С. (2025). Спосіб виготовлення біополімерно-гравійного фільтра на фільтровій колоні: пат. 159897 Україна: E21B 43/08. – № u202405949; заявл. 16.12.2024; опубл. 16.07.2025, Бюл. № 29/2025 URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1866380/>

24. Ratov, B. T., Kuttybayev, A. Y., Togasheva, A. R., Sarboreyeva, M. D., Sudakov, A. K., Pavlichenko, A. V., & Shumov, A. S. (2025). Block gravel filter for well construction (Kazakhstan Patent No. 37234). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan). <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=391000>

25. Kuldeyev, Y. I., Ratov, B. T., Kuttybayev, A. Y., Muratova, S. K., Omirzakova, E. Z., Sudakov, A. K., Pavlichenko, A. V., Shumov, A. S., Sundetova,

P. S., & Zhangirkhanova, A. A. (2025). Block gravel filter for well construction (Kazakhstan Patent No. 37252). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan). <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=391684>

26. Umirova, G. K., Ratov, B. T., Sudakov, A. K., Sudakova, D. A., Seidaliev, A. A., Pavlichenko, A. V., Shumov, A. S., Kuttybayev, A. Y., & Sarbopeeveva, M. D. (2026). Block gravel filter (Kazakhstan Patent No. 37900). National Institute of Intellectual Property (Kazakhstan). <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=416749>

27. Driscoll F. G. (1986). Groundwater and Wells. 2nd ed. St. Paul : Johnson Screens.

28. Миргородський, В.М., Манін, Г.О., Шовкун, В.М. (2002). Спосіб створення свердловинного гравійного фільтра: пат. 49756 Україна: Е21В 43/00. – № 2002054181; заявл. 22.05.2002; опубл. 16.09.2002, Бюл. № 9/2002. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/358845/>

29. Бачеріков, О.В., Шимко, Р.Я., Вечерік, Р.Л., Хаєцький, Ю.Б., Марчук, Я.С., Андріішин, М.П., Яцків, М.П., Стасів, О.С., Фірман, М.А. (2006). Спосіб встановлення фільтра з гравійною набивкою в свердловині підземного сховища газу: пат. 11869 Україна: Е21В 43/08. – № u200506481; заявл. 01.07.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1/2006. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/294182/>

30. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування.

31. Davorin M., Marin C., Bojan M. (2012). Sand Control in Well Construction and Operation. Springer. ISBN: 978-3-642-25614-1. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-25614-1>

32. Dai, C., Zhao, F. (2018). Sand Control in Oil and Water Wells. In: Oilfield Chemistry. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2950-0_9

33. Eyvazov, J., Guliyeva, M., Guliyev, U. (2023). The Effect of Sand Production to the Well Drainage Area. In: Lin, J. (eds) Proceedings of the 2022 International Petroleum and Petrochemical Technology Conference. IPPTC 2022. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2649-7_14

34. Friki, I.W., Haiduwa, N.J., Magoti, A.J., Dotto, G., Kimune, J.P., Kissima, A.K. (2020). Advanced Technologies Used in Sand Control Completion. In: Lin, J. (eds) Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2018. IFEDC 2018. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7127-1_183
35. Cheng, Y., Yan, C., Han, Z. (2023). Mechanics of Oil Well Sand Production. In: Foundations of Rock Mechanics in Oil and Gas Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1417-3_10
36. He X., Pang Z., Ren L., Zhao L., Lu X., Wang Y. and Liu P. (2024) A critical review on analysis of sand producing and sand-control technologies for oil well in oilfields. *Front. Energy Res.* 12:1399033. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1399033>
37. Кожевніков, А.О., Судаков, А.К. (2006). Гравійний фільтр: пат. 18663 Україна: Е21В 43/08. – № u200605598; заявл. 22.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11/2006. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/301082/>
38. Penberthy W. L., Shaughnessy C. M. (1992). Sand Control. *Richardson: Society of Petroleum Engineers*, ISBN 978-155-563-041-6
39. Metcalfe P. Expandable Sand Screens (ESS) performance survey. 2004. Retrieved from https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21029007?utm_source=chatgpt.com
40. Sun Y., Sun D., Zhao Y., Gao Y., Li C., Dai X., Wang Y., Cheng Y. (2022). Development and Performance Evaluation of an Intelligent Sand Control Screen Based on Polyphenylene Sulfide. *ACS Omega*. 2022 May 18;7(21):18063-18072. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01550>
41. Ochmann, L., Joseph, R., & Amro, M. M. (2021). Development of a sand retention test set-up focusing on the measurement of produced sand. *Oil & Gas European Magazine*, (2), 25–32. Retrieved from <https://www.conslot.de/images/Downloads/oga-02-21-development-of-a-sand-retention-test-set-up.pdf>

42. Судаков, А.К., Гапіч, Г.В., Шумов, А.С., Голуб, Л.П. (2023). Огляд в'язучих речовин для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (26), 49–58. <https://doi.org/10.33839/2708-731X-25-1-49-58>.

43. Судаков, А.О., Шумов, А.С. (2024). Технології використання цукру та відходів цукрового виробництва для виготовлення блокових гравійних фільтрів гідрогеологічних свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 27(1), 105–112. <https://doi.org/10.33839/2708-731X-27-1-105-112>

44. Судаков, А.К., Шумов, А.С. (2025). Інноваційне в'язуче блокових гравійних фільтрів глибоких експлуатаційних свердловин. Науковий вісник ДонНТУ, (1), 246–254. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2025-1-14-246-254>

45. Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Davydenko, O., Shumov, A., & Voita, M. (2025). Computer modeling and analysis of filtration flows in heterogeneous porous media. *Geotechnical Mechanics*, 172, 65–75. <https://doi.org/10.15407/geotm2025.172.065>

46. Naff, R.L., Haley, D.F. and Sudicky, E.A. (1998). High-resolution Monte Carlo simulation of flow and conservative transport in heterogeneous porous media 2. Transport results. *Water Resources Research*, vol. 34, no. 4, pp. 679–697. <https://doi.org/10.1029/97WR02711>

47. Wang, Q. (Ed.). (2022). Flow assurance (Vol. 1, Oil and Gas Chemistry Management Series). *Gulf Professional Publishing*. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04693-6>

48. Sage, B. H., & Lacey, W. N. (1942). Effectiveness of gravel screens. *Transactions of the AIME*, 146(01), 89–106. <https://doi.org/10.2118/942089-G>

49. Schwartz, D.H. (1969). Successful Sand Control Design for High Rate Oil and Water Wells. *Journal of Petroleum Technology*, 21, 1193-1198.

50. Maly, G. P., & Krueger, R. F. (1971). Improper formation sampling leads to improper selection of gravel size. *Journal of Petroleum Technology*, 23(12), 1403–1408. <https://doi.org/10.2118/3041-PA>

51. Sa Saucier, R. J. (1974). Considerations in gravel pack design. *Journal of Petroleum Technology*, 26(2), 205–212. <https://doi.org/10.2118/4030-PA>
52. Coberly, C. J., & Wagner, E. M. (1938). Some considerations in the selection and installation of gravel pack for oil wells (Tech. Publ. No. 960). American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.
53. Kozhevnikov, A. A., Sudakov, A. K., & Dreus, A. Yu. (2015). Scientific bases of innovation technology of drill-hole equipment by cryogenic-gravel filters. *Science and Innovation*, 11(3), 21–34. <https://doi.org/10.15407/scine11.03.021>
54. Kayastha, K. P. (2015). Development of bell type water well with wide gravel filter. *Motrol: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 17(8), 83–93. Retrieved from <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6154>
55. Karamanlioglu, M., Preziosi, R., & Robson, G. D. (2017). Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly(lactic acid): A review. *Polymer Degradation and Stability*, 137, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.009>
56. Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications – A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
57. Winterfeld, P. H., & Schroeder, D. E. J. (1992). Numerical simulation of gravel packing. *SPE Production Engineering*, 7(3), 285–290. <https://doi.org/10.2118/19753-PA>
58. Zimmermann, J. H. B., Haftani, M., Wang, C., Salimi, M., & Nouri, A. (2022). A novel laboratory technique for open-hole gravel-pack design. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 215, 110713. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110713>
59. Nguyen, L. Q. C., & Nguyen, M. D. (2022). Evaluating the screen performance in sand control design by laboratory sand retention test. *Petrovietnam Journal*, 11, 43 - 49. <https://doi.org/10.47800/PVJ.2022.11-04>
60. Wu, B., Choi, S. K., Feng, Y., Denke, R., Barton, T., Wong, C. Y., Boulanger, J., Yang, W., Lim, S., Zamperi, M., & Shaffee, S. (2016). *Evaluating*

sand-screen performance with sand-retention tests and numerical modeling. In Offshore Technology Conference Asia 2016 (OTC-26434-MS). <https://doi.org/10.4043/26434-MS>

61. Кожевников, А.О., Судаков, А.К., Камишацький, О.Ф., Пашченко, О.А. (2009). Гравійний фільтр: пат. 39691 Україна: Е21В 43/00. – № u200811215; заявл. 16.09.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5/2009. [URL: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/274912/](https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/274912/)

62. Koroviaka, Ye.A., Mekshun, M.R., Ihnatov, A.O., Ratov, V.T., Tkachenko, Ya.S., & Stavychnyi, Ye.M. (2023). Determining technological properties of drilling muds. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 25–32. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/74.192>

63. Марцинків, О.Б., Ігнатов, А.О., Васильченко, Д.О., & Аскеров, І.К. (2024). Технологічні та екологічні ознаки циклу спорудження свердловин у методах вилуговування корисних копалин. Збірник наукових праць Національного гірничого університету, (76), 206–217. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.206>

64. Ігнатов, А., Ставичний, Є., & Літвінов, В. (2024). Розгляд окремих питань свердловинних технологій вивчення властивостей гірських порід. Інструментальне матеріалознавство, (27), 56–69. <http://altis-ism.org.ua/index.php/ALTIS/article/view/411/326>

65. Ihnatov, A.O., Aziukovskyi, O.O., Stavychnyi, Ye.M., Rybachuk, S.A., Askerov, I.K., & Sala, D. (2025). Development of promising technological solutions in the construction wells. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 65–74. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-3/065>

66. Muratova, S., Pashchenko, O., Khomenko, V., & Zhailiev, A. (2025). Application of machine learning for wellbore stability assessment. *Engineering for Rural Development*, 24, 505–511. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF109>

67. Zhailiyev, A. O., Khomenko, V. L., Tabylganov, M. T., Shukmanova, A. A., & Pashchenko, O. A. (2025). Assessment of reservoir filtration-capacity properties and saturation at the Morskoye field. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 29–40. <https://doi.org/10.33271/NVNGU/2025-3/029>

68. Khomenko, V., Muratova, S., Utefov, Z., & Zhanggirkhanova, A. (2025). Improved technique for measuring rheological properties of drilling fluid. *Engineering for Rural Development*, 24, 497–504. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF107>
69. Roscoe Moss Company. (1990). Handbook of ground water development. John Wiley & Sons.
70. Polak, K., Kaznowska-Opala, K. & Pawlecka, K. (2016). Causes of Decreased Discharge and Damage to a Dewatering Well's Gravel Coat. *Mine Water Environ* 35, 120–127. <https://doi.org/10.1007/s10230-015-0361-5>
71. Бачеріков, О.В., Вечерік, Р.Л., Хаєцький, Ю.Б., Лохман, І.В., Рудко, В.В., Гордієнко, О.М. (2011). Спосіб встановлення фільтра з гравійною набивкою у свердловині підземного сховища газу: пат. 62701 Україна: Е21В 43/00. – № u201101718; заявл. 14.02.2011; опубл. 12.09.2011, Бюл. № 17/2011. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/669054/>
72. Roberts, M. R., & Williams, A. F. (1970). Sand screen performance and gravel pack design considerations. *Journal of Petroleum Technology*, 22(8), 1045–1054. <https://doi.org/10.2118/PW0460>
73. Sand control techniques. (1988). In SPE General Information Publication 2114. *Society of Petroleum Engineers*. <https://doi.org/10.2118/PW089655>
74. Gravel placement techniques. (1988). SPE General Information Publication 1681. *Society of Petroleum Engineers*. <https://doi.org/10.2118/PW0462>
75. Blair, A.H. (1970), Well Screens and Gravel Packs^a. *Groundwater*, 8: 10-21. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1970.tb01297.x>
76. Стрюков, Є.Г., Яремійчук, Р.С., Ніколенко, І.В., Бачеріков, О.В., Мельник, Л.П., Мельничук, П.М. (2012). Спосіб спорудження гравійного фільтра у свердловині та відновлення його фільтраційних властивостей у процесі експлуатації свердловини: пат. 97518 Україна: Е21В 43/08. – № а200911988; заявл. 23.11.2009; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 4/2012. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1279916/>

77. Судаков, А.К., Судакова, Д.А. (2018). Блоковий гравійний фільтр: пат. 122845 Україна: Е21В 43/08. – № u201708658; заявл. 28.08.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2/2018. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/239209/>
78. Кондрат Р. М., Дремлюх Н. С. Дослідження впливу розміру і проникності штучно створеної присвердловинної зони пласта на продуктивну характеристику свердловини. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2016. No 1(40). С.14–19. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9289/1/8835p.pdf>
79. Бойко В.С., Франчук І.А., Іванов С.І., Бойко Р.В. (2004). Експлуатація свердловин у нестійких колекторах: монографія. Київ, 2004. 400 с.
80. Herputra, S., Sare, J. K., Binilang, R., Pande, B., Sentunata, M., Rossi, M., Merati, P. A., Hosen, L. H., & Kurniawan, N. (2024). Maximizing slim hole well deliverability: First installation of 3.5" alternate path open hole screen in Indonesia and implementation of erosional velocity analysis. *Paper presented at the SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, United States*. <https://doi.org/10.2118/217910-MS>
81. Білецький, Я.С., Сенюшкович, М.В., Марцинків, О.Б., Витвицький, І.І. (2022). Гравійний фільтр для нафтогазових свердловин: пат. 125715 Україна: Е21В 43/04. – № a202007539; заявл. 26.11.2020; опубл. 18.05.2022, Бюл. № 20/2022. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1689107/>
82. Bhardwaj, B., Aparna, Shekhawat, N., Shende, A., Narayan, S., Srinivasan, L., Agarwal, D., Beldongar, M., & Gadiyar, B. (2026). Conventional openhole gravel pack completions deliver higher gas production in Tapti Daman area, India. *Paper presented at the SPE International Conference & Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, United States*. <https://doi.org/10.2118/230547-MS>
83. Gaillard, N., Salehi, N., Zaitoun, A., Marghani, M. El, Etajuri, M., Alshabani, S., & Edayekh, S. (2026). Mitigating sand production in mature oil well with microgel technology. *Paper presented at the SPE International Conference & Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, United States*. <https://doi.org/10.2118/230520-MS>
84. Зур'ян, О.В., Морозов, Ю.П., Лобанова, І.В., Бачеріков, О.В. (2024). Спосіб встановлення фільтра з гравійною набивкою в свердловинах зі

слабозцементованими продуктивними пластами: пат. 157211 Україна: Е21В 43/00, Е21В 43/08. – № u202400326; заявл. 19.01.2024; опубл. 18.09.2024, Бюл. № 38/2024. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1818456/>

85. Судаков А.К., Загриценко А.М., Мостинець О.Н., Подвігіна О.О., Шумов А.С. (2026). Гідрогеологічне та технологічне обґрунтування альтернативного водопостачання півдня України: монографія. – Київ: ТОВ «Наукове видавництво “Нова Думка”», 284 с. <https://doi.org/10.64696/9786178816414>

86. C. J. Coberly. (1937). Selection of Screen Openings for Unconsolidated Sands. *Drilling and Production Practice*- 1. Januar, pp. 189–201, 1937, API 37-189.

87. R. M. Hodge, R. C. Burton, V. Constien, and V. Skidmore. (2002). An Evaluation Method for Screen-Only and Gravel-Pack Completions,” *Proceedings - SPE International Symposium on Formation Damage Control*, no. 1, pp. 669–683, 2002, <https://doi.org/10.2118/73772-MS>

88. Thomas J., Maxime P., Man Yee. (2019). Automatic water level and temperature monitoring system for shallow geothermal wells. WIPO Patent Application WO2019182706A1. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019182706&_cid=P11-MLOZSL-20541-1

89. Macdonald, I., & Adimie, E. O. (2024). Effective gravel pack technique for well completion. *Petroleum Science and Engineering*, 8(1), 56–62. <https://doi.org/10.11648/j.pse.20240801.17>

90. Jean Marc, Stephen M. (2015). Sand control filter assembly with multilayer woven wire filter mesh and method for manufacture thereof. WIPO Patent Application WO2015195101. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=WO2015195101&_cid=P10-LZ2H78-29331-1

91. Carlson Robert A. (1998). Radial-flow filter and method of manufacture. WIPO Patent Application US5833853. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US38835026&_cid=P10-LZ2DZC-42437-1

92. Bode J., Fontenot G., Rouse B., Jordon J. (2001). Filter for subterranean wells. WIPO Patent Application WO2001051766. Retrieved from <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=WO2001051766&cid=P10-LZ2DHU-28626-1>

93. Martch, Eddy , Hudson, Andy , Bode, Wouter , Fischer, Christine , and Vernon Constien. (2012). "Fundamentals of Gravel Pack Performance With Mesh Screens." Paper presented at the SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 2012. <https://doi.org/10.2118/151865-MS>

94. Zhu C, Sun H et al (2000) Optimized experimental study on sand packing methods in coarse sandstone heavy oil reservoir [J]. *Spec Oil Gas Reserv* 7(3):36–38

95. Oyeneyin, B. (2015). Sand control completion strategy. In *Sand Control in Well Construction and Operation* (Vol. 63, pp. 191–223). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62637-0.00006-3>

96. Jin, Yan & Chen, Junhai & Chen, Mian & Zhang, Fuxiang & Lu, Yunhu & Ding, Jihui. (2012). Experimental study on the performance of sand control screens for gas wells. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-012-0019-9>

97. Ahad, Nur Aqilah & Jami, Morteza & Tyson, Stephen. (2020). A review of experimental studies on sand screen selection for unconsolidated sandstone reservoirs. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-019-00826-y>

98. Кондрат, Р. М., Дремлюх, Н. С., & Матіішин, Л. І. (2023). Дослідження впливу водного фактора на продуктивну характеристику свердловини з гравійним фільтром. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, (2 (87)), 51-58. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9443/1/9562p.pdf>

99. Safaei, A., Asefi, M., Ahmadi, M., Pourshamsi, T., Baloochestanzadeh, S., Khalilnezhad, A., & Riazi, M. (2023). Chemical treatment for sand production control: A review of materials, methods, and field operations. *Petroleum Science*, 20(3), 1640–1658. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2023.02.013>

100. Khan J. A., Zainal A. Z., Idris K. N., et al. (2024). Sand screen selection by sand retention test: a review of factors affecting sand control design. *Arabian Journal of Geosciences*. <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01803-w>
101. Asfha, D.T., Latiff, A.H.A., Otchere, D.A. *et al.* (2024). Mechanisms of sand production, prediction—a review and the potential for fiber optic technology and machine learning in monitoring. *J Petrol Explor Prod Technol* 14, 2577–2616 <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01860-1>
102. Abduljabbar, A., Mohyaldinn, M.E., Younis, O. *et al.* (2022). Erosion of sand screens by solid particles: a review of experimental investigations. *J Petrol Explor Prod Technol* 12, 2329–2345. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01467-4>
103. Shi, H., Dong, C., Zhan, X., Liu, C., Li, L., Ji, J., Yu, Y., & Li, Z. (2024). Selection Results of Solid Material for Horizontal and Highly-Deviated Well Completion Gravel-Packing: Experiments, Numerical Simulation and Proposal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(10), 1690. <https://doi.org/10.3390/jmse12101690>
104. Abduljabbar A., Amadi A., Mohyaldinn M. E., Ridha S., Younis O., Alakbari F. S. (2024). Sand screens application and performance for sand control: A review of selection criteria, screen materials, and causes of failure. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, no. 10. e30731. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30731>
105. Su, N. C., Jusof, S. A. I., Zainal, A. Z., Jian, Y. Y., Xian, C. K., Mohd Laziz, A. B., Muhammad, M. F., Khan, J. A., Abdullah, A. H., & Moinser, M. A. B. (2025). Enhancing sand screen performance with integrated slurry testing and CFD-DEM modelling. *Heliyon*, 11(1), e40877. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40877>
106. Xu, Zhenqiang & Shen, Kaixiang & Zhou, Jiawei & Huang, Qisheng & Liu, Pingli & Du, Juan & Wu, Jia. (2024). Chemical sand production control: a review of materials, methods and characterization. *Frontiers in Energy Research*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1424059>
107. Катрук Д. С., Левицький В. Є., Масюк А. С., Куліш-Пелєнська Б. І., Кисіл Х. В., Ларук Ю. В. Вплив водних середовищ на стійкість модифікованих полілактидних матеріалів // Питання хімії та хімічної технології. 2025. № 1. С. 4–12. <https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2025/1/Katruk.pdf>.

108. Dedukh, Ninel & Makarov, Vasyly & Pavlov, A.D.. (2021). Polylactide-based biomaterial and its use as bone implants (analytical literature review). *PAIN, JOINTS, SPINE*. 9. 28-35. <https://doi.org/10.22141/2224-1507.9.1.2019.163056>
109. Мікульонок І. О. (2020). Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. 2-ге вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 292 с. – Режим доступу: (репозитарій КПІ).
110. Auras, R. A., Lim, L.-T., Selke, S. E. M., & Tsuji, H. (2010). Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications. *Hoboken, NJ: John Wiley & Sons*. <https://doi.org/10.1002/9780470649848>
111. R. A. Chanpura, S. Mondal, M. M. Sharma, J. S. Andrews, A. M. Mathisen, F. Martin, F. Marpaung, J. A. Ayoub, and M. Parlar. (2013). Unraveling the myths associated with selecting standalone screens and a new methodology for sand-control applications. *SPE Drilling and Completion*, vol. 28, no. 3, pp. 227–236, 2013, <https://doi.org/10.2118/158922-PA>.
112. Судаков, А. К., Дреус, А. Ю., Гапич, Г. В., Шумов, А. С. (2025). Технологія обладнання бурових свердловин біорозчинними блоковими гравійними фільтрами. *Інструментальне матеріалознавство*, (28), 28–39. <https://doi.org/10.33839/2708-731X-28-1-28-39>
113. Lim, L.-T., Auras, R., & Rubino, M. (2008). Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, 33, 820–852. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004>
114. Garlotta, D. (2001). A literature review of poly(lactic acid). *Journal of Polymers and the Environment*, 9(2), 63–84. <https://doi.org/10.1023/A:1012744232051>
115. Tsuji, H. (2005). Hydrolytic degradation of poly(lactic acid): A review. *Polymer Degradation and Stability*, 87, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.12.001>
116. Södergård, A., & Stolt, M. (2002). Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. *Progress in Polymer Science*, 27, 1123–1163. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00067-5)
117. Vink, E. T. H., Rabago, K. R., Glassner, D. A., & Gruber, P. R. (2010).

The eco-profile of current and future NatureWorks® polylactide (PLA) production. *Industrial Biotechnology*, 6(4), 212–224. <https://doi.org/10.1089/ind.2010.0003>

118. Tsuji, H., & Ikada, Y. (1995). Properties and morphology of poly(L-lactide): 1. Annealing condition effects. *Polymer*, 36, 2709–2716. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(95\)95284-E](https://doi.org/10.1016/0032-3861(95)95284-E)

119. Paul, M. A., Sharma, A., & Katiyar, V. (2012). Plasticization and processing of PLA. *Polymer Engineering & Science*, 52, 1–15. <https://doi.org/10.1002/pen.23141>

120. Jamshidian, M., Tehrani, E. A., Imran, M., Jacquot, M., Desobry, S., & Chang, J.-S. (2010). Poly-lactic acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 552–571. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x>

121. Carrasco, F., Pagès, P., Galià, M., & Rodríguez-Pérez, M. A. (2010). Mechanical and thermal properties of PLA: Fundamental aspects for processability and end-use performance. *Polymer Degradation and Stability*, 95, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.10.014>

122. Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., & John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101, 8493–8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>

123. Li, S., & McCarthy, S. (1999). Influence of crystallinity and morphology on the hydrolytic degradation of PLA. *Macromolecules*, 32, 4454–4456. <https://doi.org/10.1021/ma9901099>

124. Tsuji, H., & Suzuyoshi, K. (2002). Environmental degradation of biodegradable polyesters. *Polymer Degradation and Stability*, 75, 347–355. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00206-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00206-0)

125. Vert, M., Mauduit, J., & Li, S. M. (1992). Bioresorbability and biocompatibility of aliphatic polyesters. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 3, 432–446. <https://doi.org/10.1007/BF00701240>

126. Grizzi, I., Garreau, H., Li, S., & Vert, M. (1995). Hydrolytic degradation of devices based on poly(dl-lactic acid) size-dependence. *Biomaterials*, 16, 305–311. [https://doi.org/10.1016/0142-9612\(95\)93258-F](https://doi.org/10.1016/0142-9612(95)93258-F)

127. Anderson, J. M., & Shive, M. S. (1997). Biodegradation and biocompatibility of PLA and PLGA microspheres. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 28, 5–24. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(97\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(97)00048-3)
128. Middleton, J. C., & Tipton, A. J. (2000). Synthetic biodegradable polymers as medical devices. *Biomaterials*, 21, 2335–2346. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00101-0)
129. Drumright, R. E., Gruber, P. R., & Henton, D. E. (2000). Polylactic acid technology. *Advanced Materials*, 12, 1841–1846. [https://doi.org/10.1002/1521-4095\(200012\)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E)
130. Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. *Materials*, 2, 307–344. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>
131. Garlotta, D., Slater, R., & Rose, K. (2004). Biodegradation of poly(lactic acid) in aqueous environments. *Journal of Polymers and the Environment*, 12, 151–159. <https://doi.org/10.1023/B:JOOE.0000038549.98757.5e>
132. Fukushima, K., Abbate, C., Tabuani, D., Gennari, M., & Camino, G. (2009). Biodegradation of poly(lactic acid) and its nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 94, 1646–1653. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.05.002>
133. Henton, D. E., Gruber, P., Lunt, J., & Randall, J. (2005). Polylactic acid technology. In A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal (Eds.), *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites* (pp. 527–578). CRC Press.
134. Auras, R., Harte, B., & Selke, S. (2004). An overview of poly(lactic acid). *Macromolecular Bioscience*, 4, 835–864. <https://doi.org/10.1002/mabi.200400043>
135. Schlichting, H., & Gersten, K. (2017). *Boundary-layer theory* (9th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52919-5>
136. Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1987). *Fluid mechanics* (2nd ed.). Pergamon Press.
137. Bleach, N.C., Tanner, K.E., Kellomäki, M. *et al.* Effect of filler type on the mechanical properties of self-reinforced polylactide–calcium phosphate composites. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 12, 911–915 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1012884310027>

138. Ikada, Y. and Tsuji, H. (2000), Biodegradable polyesters for medical and ecological applications. *Macromol. Rapid Commun.*, 21: 117-132. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3927\(20000201\)21:3%3C117::AID-MARC117%3E3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3927(20000201)21:3%3C117::AID-MARC117%3E3.0.CO;2-X)
139. Sudakov A., Ratov B., Shumov A., & Sarbopeyeva M. (2025). Study of the physical and mechanical properties of biopolymer gravel composite block filters hydrogeological wells. *Mineral Resources of Ukraine*, 2025(4), 48–53. <https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.48-53>
140. Sudakov, A., Sarbopeyeva, M., Isakova, M., Narbayev, M., Aliakbar, M., & Shumov, A. (2026). Results of research into the physical and mechanical properties of biopolymer gravel composite block filters for hydrogeological wells. *Advances in Science and Technology*, 172, 226–237. <https://doi.org/10.4028/p-8G1x4s>
141. Sudakov, A., Yavorska, O., Isakova, M. & Shumov, A. (2026). Research of biopolymer gravel composite block filters for hydrogeological wells. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1630(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1630/1/012056>

ДОДАТОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна
 тел. tel.: +38 (056) 796 55 66, +38 (098) 001 25 25; +38 (056) 744 62 11;
 e-mail: rector@nmu.org.ua; nmu@nmu.org.ua; http://nmu.org.ua; код ЄДРПОУ 02070743

06.04.2026 № 10-2-26/92

на № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертації на здобуття ступеня доктора
 філософії Шумова Андрія Сергійовича
**«Розробка технології обладнання гідрогеологічних свердловин блоковими
 гравійними фільтрами»**

Результати наукової роботи, виконаної Шумовим А. С., мають практичну значущість та впроваджені.

У процесі виконання дисертаційного дослідження розроблено конструкцію та технологічні рішення гравійного фільтра для будівництва свердловин, які забезпечують підвищення ефективності фільтрації, стабільність роботи свердловин і збільшення їх експлуатаційного ресурсу.

Впровадження результатів дисертаційної роботи здійснено шляхом трансферу технології в освітніх цілях, що підтверджується укладенням ліцензійного договору № 13 ПЛ від 06 лютого 2025 року та актом приймання-передачі технічної документації до зазначеного договору. Згідно з договором ліцензіар - Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» - передав ліцензіату науково-технічну документацію (ноу-хау) щодо корисної моделі «Гравійний фільтр для будівництва свердловин» за патентом України № 156359.

Результати дисертаційної роботи Шумова А. С. успішно впроваджені, що підтверджує їх практичну цінність та актуальність для підготовки фахівців відповідного профілю.

Проректор з наукової роботи



Ігор НІКІТЕНКО



ДОДАТОК Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ ФІТ «Дніпрогідробуд»

Олег МОСТИНЕЦЬ



№ А/04 2026 р.



АКТ

виробничих випробувань технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром

20.04.2026 р.

м. Дніпро

Комісія у складі: головного інженера Базика І.П. – голова, інженера-гідрогеолога Андріяка В.С., професора кафедри НГІБ НТУ «ДП» Судакова А.К., аспіранта кафедри НГІБ НТУ «ДП» Шумова А.С. та бурового майстра Топольника В.Я. склала цей акт про те, що в період з 1.04.2026 по 5.04.2026 були проведені виробничі випробування технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром у населеному пункті Вільногірськ Дніпровського району.

Мета виробничих випробувань

Метою виробничих випробувань було визначення ефективності технології обладнання водозабірної частини гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром та економічної ефективності виконання робіт за запропонованою технологією.

Об'єкт виробничих випробувань

Об'єктом виробничих випробувань є такі процеси: виготовлення блокового гравійного фільтра, транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини, обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини.

Геолого-технічні умови проведення виробничих випробувань

Ділянка проведення робіт розташована в межах поширення водоносних горизонтів неогенових відкладень.

У геологічній будові беруть участь породи кайнозою та докембрійського фундаменту (табл. 1). У верхній частині розрізу залягають четвертинні відкладення, представлені глинистими пісками потужністю до 6 м. Нижче, в інтервалі глибин 6–35 м, поширені глини четвертинно-неогенового віку.

З глибини близько 41 м оголюються неогенові відкладення, представлені пісками різної зернистості, глинистими пісками та глинами. Піщані товщі в інтервалі 41–84 м характеризуються переважно дрібно- та середньозернистим складом. В інтервалі 84–95 м поширені глинисті піски, а на глибині 95–100 м залягають глини неогенового віку. У нижній частині розрізу, на глибині 100–101 м, зустрічаються глинисті піски з вугільними відкладеннями.

З кутовим і стратиграфічним неспівпадінням на породах осадового чохла залягає кора вивітрювання кристалічних порід докембрійського фундаменту, розкрита в інтервалі глибин 101–110 м.

Основним водоносним горизонтом, який використовується для цілей автономного водопостачання, є піщані відкладення неогенового віку.

Таблиця 1 - Геологічний розріз по свердловині

№ п/п	Геологічний вік породи	Короткий опис літологічного складу порід	Глибина залягання, м		Потужність горизонту, м
			від	до	
1	Q	Глина	0,0	3,0	3,0
2	Qa1	Піски глинисті	3,0	6,0	3,0
3	Q-N	Неогенові глини	6,0	41,0	35,0
4	N ₁ ,N ₂	Піски	41,0	84,0	43,0
5	NPg	Піски глинисті	84,0	95,0	11,0
6	N ₂	Піски	95,0	100,0	5,0
7	NPg	Піски глинисті вуглисті	100,0	101,0	1,0
8	PR	Кора вивітрювання	101,0	110,0	9,0

Глибину свердловини прийнято рівною 101,6 м. Глибина залягання покривлі водоносних пісків неогенового віку становить приблизно 41 м, товщина водоносного горизонту – близько 30–35 м (в інтервалі 60–90 м).

Водоносний горизонт є напірним, оскільки перекривається глинистими та глинисто-піщаними відкладами, що виконують роль водонепроникних шарів. Передбачуваний статичний рівень води становить 57 м від поверхні.

Очікуваний дебіт свердловини знаходиться в межах 3,5–7,3 л/с, що обумовлено хорошими фільтраційними властивостями піщаних відкладень неогенового віку.

Мінералізація підземних вод прогнозується в межах 0,3–1,5 г/дм³, загальна жорсткість – 2–6 ммоль/дм³, що відповідає водам прісного та слабомінералізованого типу.

Водоносний горизонт характеризується задовільним ступенем захищеності від поверхневого забруднення, оскільки перекритий товщею глини і глинистих пісків потужністю понад 41 м.

Буріння здійснювалося за допомогою установки УРБ-2А2.

Промивна рідина — звичайний глинистий розчин.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0–52,0 м пробурено долотом діаметром 295,9 мм і перекрито обсадною колоною діаметром 219 мм. Колона зацементована з виходом розчину на поверхню.

Інтервал 52,0–101,6 м пробурено долотом діаметром 190,5 мм і обсаджено «впотаєм» фільтровою колоною діаметром 115 мм. Її компонування наведено в табл. 2.

Нижня частина відстійника фільтрової колони обладнана зворотним клапаном.

Робоча частина фільтрової колони мала круглу перфорацію. Її водопримальна поверхня виконана з полімерної сітки квадратного плетіння перерізом 1 мм. Зовнішній діаметр робочої частини фільтрової колони – 117 мм. Внутрішній діаметр біополімерного гравійного елемента фільтра 118 мм, зовнішній – 185 мм.

Таблиця 2 – Компонування фільтрової колони

Відстійник фільтрової колони:	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	1,6
Робоча частина фільтрової колони:	
зовнішній діаметр, м	0,117
довжина, м	18
Надфільтрувальна частина:	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	72
Підфільтрувальна частина	
зовнішній діаметр, м	0,115
довжина, м	10

Для даних геолого-технічних умов виробничих випробувань прийнято:

сумарна довжина біополімерних гравійних елементів фільтра, м.....	52,0;
довжина біополімерного гравійного елемента фільтра, м.....	0,2.

Для виготовлення біополімерних гравійних елементів фільтра використовувався неоднорідний, погано окатаний гравій з магазину «Епіцентр».

Між відстійником і робочою частиною фільтрової колони встановлено опору біополімерних гравійних елементів фільтра, яка мала зовнішній діаметр – 185 мм.

Довжина фільтрової колони становила 101,6 м.

Збірка та спуск фільтрової колони здійснювалися з положення «на винос».

Верх фільтрової колони знаходиться вище башмака обсадної колони на 2,6 м. Міжколонний простір герметизовано пакером.

Результати виробничих випробувань

Будівництво свердловини здійснювалося у весняний період.

Середньодобова температура повітря у весняні місяці перебувала в діапазоні від +2 ... +8°C. Температура свердловинної рідини становила +10°C.

Роботи з виготовлення біополімерних гравійних елементів проводилися після затвердження проекту спорудження гідрогеологічної свердловини на даній ділянці. Матеріали, витрачені на виготовлення блокового гравійного фільтра:

– довжина блокового гравійного фільтра, м	52
– маса гравію, т	1,56
– маса в'язучої речовини PLA, кг	135,2

У результаті отримано:

– середня маса біополімерного гравійного елемента фільтра, кг	31,2
– масова концентрація PLA, %	8
– товщина гравійного шару біополімерного гравійного елемента фільтра, мм..	33,5

Після розкриття водоносного горизонту на повну потужність було здійснено: вимірювання температури пластової води, доставлено біополімерні гравійні елементи на бурову площадку; підготовка фільтрової колони; складання блокового гравійного фільтра, вилучення бурильної колони зі свердловини.

Температура свердловинної рідини +10 °С.

За допомогою муфти на бурильній колоні здійснено транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини з посадкою його в її водоприймальну частину.

Під час транспортування ускладнень не спостерігалось. Відстійник фільтрової колони встановлено на глибині – 101,6 м.

Після перевірки шупом рівня гравію у свердловині надфільтрова частина колони була герметизована пакером з подальшим промиванням свердловини технічною водою протягом 3 годин.

Під час випробування технологій виготовлення та обладнання блоковим гравійним фільтром гідрогеологічної свердловини проводили хронометраж часу виконання технологічних операцій. В результаті чого встановлено витрати часу на:

- 1) Час доставки біополімерних гравійних елементів на бурову площадку – 87 хв.
- 2) Збірку блокового гравійного фільтра – 52 хв.
- 3) Спуск 6 м свічки у свердловину – 12 с.
- 4) Нарощування фільтрової колони – 2 хв.
- 5) Нарощування бурової колони – 45 секунд.

6) Транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини з установкою в її водоприймальну частину, не більше – 60 хв.

На завершальному етапі будівництва свердловини було проведено пробне відкачування пластових вод. На початку спостерігалось незначне запускування свердловини, але через 1 годину вода повністю прояснилася, а ще через 4 години запускування припинилося.

Під час пробних відкачувань визначалися дебіти та рівні рідини у свердловині. Встановлено, що: дебіт свердловини склав – 7,2 м³/год; статичний рівень – 57,0 м; динамічний – 85,0 м; зниження 28 м; питомий дебіт – 0,25 м³/м·год.

В результаті скорочення часу транспортування гравію у водопримальну частину свердловини на 1 годину, часу промивання на 8 годин, часу дослідних відкачувань на 7 годин, економічний ефект від застосування технології обладнання блоковим гравійним фільтром водопримальної частини гідрогеологічної свердловини склав 34,55 тис. грн.

Висновки та пропозиції

Комісією встановлено, що:

1. Виробничі випробування технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром підтвердили працездатність та ефективність досліджуваної технології й довели, що:

– розроблена технологія виготовлення біополімерних гравійних елементів фільтра дозволяє застосовувати її в умовах бурової;

– технологія транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини із застосуванням стандартного обладнання та інструменту не ускладнює процес обладнання водопримальної частини гідрогеологічної свердловини гравійним фільтром, а спрощує його.

2. Технологія виготовлення біополімерних гравійних елементів фільтра дозволяє зменшити витрату гравійного матеріалу в 3 рази, поліпшити процес виготовлення гравійного фільтра за рахунок формування обсіпки на поверхні свердловини.

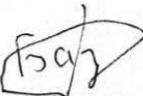
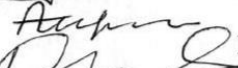



3. Випробувана технологія обладнання водопримальної частини гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу на 1,05 ст.см.

4. Економічний ефект від застосування технології обладнання водопримальної частини гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром склав 34,55 тис. грн. Це досягнуто за рахунок: часу промивання на 0,5 ст.см., часу пробних відкачувань на 0,63 ст.см., економії гравійного матеріалу.

5. Розроблені технології виготовлення блокового гравійного фільтра та транспортування блокового гравійного фільтра по стовбуру свердловини можуть застосовуватися при спорудженні гідрогеологічних свердловин.

Представник комісії

Члени комісії:

	Іван БАЗИКА
	Василь АНДРІЯК
	Андрій СУДАКОВ
	Андрій ШУМОВ
	Володимир ТОПОЛЬНИК

ДОДАТОК В

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ ППЕ «Дніпрогідробуд»

Олег МОСТИНЕЦЬ

2026 р.

**РОЗРАХУНОК**

економічної ефективності технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром

Ціль розрахунку

Метою розрахунку є визначення економічної ефективності технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром у населеному пункті Вільногірськ Дніпровського району.

Геолого-технічні умови проведення виробничих випробувань

Геолого-технічні умови та результати виробничих випробувань технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром у населеному пункті Вільногірськ Дніпровського району наведені в акті виробничих випробувань технології обладнання гідрогеологічної свердловини блоковим гравійним фільтром від 20.04.2026 р.

Результати розрахунку

У розрахунках однакові витрати не враховуються. Вартість матеріалів та енергоносіїв взято за квітень 2026 р. Вартість 8-годинної станко-зміни $C_{ст.зм} = 15,0$ тис. грн.

В розрахунках однакові витрати не враховувалися. Економічний ефект E від впровадження нової технології розраховувався виходячи з

$$E = C^b - C^n$$

де C^b і C^n – собівартість обладнання гравійними фільтрами, відповідно базовим та запропонованим методом, тис. грн.

У загальному випадку собівартість C^b базової технології визначається як

$$C^b = C_{п.в.}^b + C_v^b + C_{в.в.}^b + C_r^b + C_{г.тр.}^b + C_{д.в.}^b$$

$C_{п.в.}^b$ – вартість часу промивання свердловини водою, видалення глинистої кірки, утворення каверни, тис. грн. За даних геологічних умов час промивання становить 12 годин, а це 1,5 ст.зм.

$$C_{п.в.}^b = C_{ст.зм} \cdot 1,5 = 15,0 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ тис. грн}$$

C_v^b – вартість води, необхідної для заміщення розчину, промивання свердловини, створення каверни, тис. грн. Для даних геологічних умов знадобиться 35 м³. Місткість водовозки – 4,2 м³. Відстань до водойми – 10 км. Необхідно зробити 9 рейсів. Витрата палива – 90 л. При вартості палива 0,081 тис. грн/л.

$$C_v^b = 90 \cdot 0,081 = 7,29 \text{ тис. грн}$$

$C_{в.в}^б$ – вартість вивезення відпрацьованої води, тис. грн. Обчислимо для тих самих умов, але за умови, що 20 % води витрачено, тоді

$$C_{в.в.}^б = 70 \cdot 0,081 = 5,67 \text{ тис. грн}$$

$C_{г}^б$ – вартість гравію, що витрачається при базовій технології, тис. грн. За базової технології витрата гравію становитиме 4,68 т. При вартості гравію 8,0 тис. грн./т

$$C_{г}^б = 4,68 \cdot 8,0 = 37,44 \text{ тис. грн}$$

$C_{г.тр}^б$ – вартість часу, що витрачається на засипку через гирло та транспортування гравію по стовбуру свердловини, тис. грн. Час транспортування становить 4 години, а це 0,5 ст.зм.

$$C_{г.тр.}^б = C_{ст.зм} \cdot 0,5 = 15,0 \cdot 0,5 = 7,50 \text{ тис. грн.}$$

$C_{д.в.}^б$ – вартість часу дослідних відкачувань, тис. грн. За даних геологічних умов тривалість пробних відкачок становитиме 12 годин, а це 1,5 ст.зм.

$$C_{д.в.}^б = C_{ст.зм} \cdot 1,5 = 15,0 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, собівартість базової технології становить

$$C^б = 22,5 + 7,29 + 5,67 + 37,44 + 7,5 + 22,5 = 102,9 \text{ тис. грн}$$

Собівартість $C^п$ пропонованої технології визначається як

$$C^п = C_{п.к.}^п + C_{е.н.}^п + C_{г}^п + C_{п}^п + C_{п.в.}^п + C_{в}^п + C_{в.в.}^п + C_{д.в.}^п$$

$C_{п.к.}^п$ – вартість часу, витраченого персоналом на приготування композиту, формування, розбирання форм, вилучення БГЕ фільтра та доставки його на бурову площадку, тис. грн. Воно становило 1,82 ст.зм.

$$C_{п.к.}^п = C_{ст.зм} \cdot 1,82 = 15,0 \cdot 1,82 = 27,3 \text{ тис. грн.}$$

$C_{е.н.}^п$ – вартість енергоносіїв, витрачених на приготування та монолітизацію БГЕ фільтра, тис. грн.; Визначається як

$$C_{е.н.}^п = C_{е.е.}$$

$C_{е.е.}$ – вартість електроенергії, витраченої сушильною шафою 6,2 кВт/год за 1 год омонолічування БГЕ, тис. грн. Час роботи сушильної шафи становило 8 годин. При вартості електроенергії 0,0065 тис. грн/кВт.

$$C_{е.е.} = 6,2 \cdot 0,0065 \cdot 8 = 0,32 \text{ тис. грн.}$$

$C_{г}^п$ – вартість гравію, витраченого за пропонованою технологією, тис. грн. Використано гравію 1,56 т. При вартості гравію 8,0 тис. грн./т

$$C_{г}^п = 1,56 \cdot 8,0 = 12,48 \text{ тис. грн.}$$

$C_{п}^п$ – вартість PLA, витраченого для приготування БГЕ фільтра, тис. грн. Використано PLA 135,2 кг. При вартості PLA 73,45 грн./т

$$C_{\text{п}}^{\text{п}} = 135,2 \cdot 0,073 = 9,93 \text{ тис. грн.}$$

$C_{\text{п.в.}}^{\text{п}}$ – вартість часу промивання свердловини водою, видалення глинистої кірки, тис. грн. Час промивання склав 4 години, а це 0,5 ст.зм.

$$C_{\text{п.в.}}^{\text{п}} = C_{\text{ст.зм}} \cdot 0,5 = 15,0 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ тис. грн.}$$

$C_{\text{в.}}^{\text{п}}$ – вартість води, необхідної для заміщення розчину, промивання свердловини, тис. грн. За тих самих умов було витрачено 4,2 м³.

$$C_{\text{в.}}^{\text{п}} = 10 \cdot 0,081 = 0,81 \text{ тис. грн.}$$

$C_{\text{в.в.}}^{\text{п}}$ – вартість вивезення відпрацьованої води за тих самих умов, тис. грн.

$$C_{\text{в.в.}}^{\text{п}} = 10 \cdot 0,081 = 0,81 \text{ тис. грн.}$$

$C_{\text{д.в.}}^{\text{п}}$ – вартість часу дослідних відкачувань, тис. грн. Тривалість пробних відкачувань становила 5 годин, а це 0,63 ст.зм.

$$C_{\text{д.в.}}^{\text{п}} = C_{\text{ст.зм}} \cdot 0,63 = 15,0 \cdot 0,63 = 9,4 \text{ тис. грн.}$$

Собівартість $C^{\text{п}}$ запропонованої технології склала

$$C^{\text{п}} = 27,3 + 0,32 + 12,48 + 9,93 + 7,5 + 0,81 + 0,81 + 9,4 = 68,55 \text{ тис. грн.}$$

Висновки

1. Собівартість базової технології обладнання гравійними фільтрами у населеному пункті Вільногірськ Дніпровського району становить 102,9 тис. грн.

2. Собівартість запропонованої технології для тих самих умов склала 68,55 тис. грн.

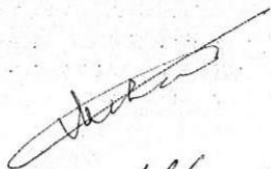
3. Економічний ефект від застосування розробленої технології обладнання гідрогеологічних свердловин глибиною 101,6 м з довжиною робочої частини блокового гравійного фільтра 52 м склав 34,55 тис. грн.

4. Досягти такого результату стало можливим за рахунок:

– істотного зменшення витрати гравійного матеріалу, що транспортується до водоносного горизонту;

– скорочення непродуктивних витрат часу та коштів, що витрачаються на промивку свердловини, пробні відкачування.

Головний бухгалтер
ТОВ ПГТ «Дніпрогідробуд»



Євгенія ЛАЗОРЕНКО

Аспірант каф. Нафтогазової інженерії
та буріння



Андрій ШУМОВ

ДОДАТОК Г

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ГЕОЛОГІЇ та НАДР УКРАЇНИ
ТОВ Промислово-геологічної групи "Дніпрогідробуд"

9.05.2026 р.

Протокол №1

гідрогеологічного обстеження водозабору підземних вод

Власник водозабору Бойко Геннадій МиколайовичЮридична адреса власника водозабору Дніпропетровська область, місто ВільногірськМісцезнаходження водозабору (адміністративна прив'язка) Дніпропетровська область, Дніпровський район, м. ВільногірськГеографічні координати водозабору 48°28'28.9"N 34°00'05.7"EМи, що нижче підписалися, представник геологічного підприємства ТОВ Промислово-геологічна група "Дніпрогідробуд": інженер - гідрогеолог Андріак В.С., на підставі "Кодексу України про надра", "Водного кодексу України", в присутності представника організації, що експлуатує водозабір Ковальчук Дар'ї Сергіївни.

в результаті дослідження стану експлуатації водозабору

ВСТАНОВИЛИ:

1. Тип водозабору : свердловина
2. Кількість свердловин 1
3. Наявність технічної документації на свердловину паспорт свердловини №1/НТУ від 16.04.2026 р.
4. Наявність журналу спостережень за водовідбором і рівнями підземних вод по свердловині ведеться, раз в шість місяців
5. Якість підземних вод: згідно з хім. аналізом, виданим ВСП "Дніпропетровським РВЛД", якість води не відповідає вимогам ДержСанПіНу для нецентралізованого водопостачання за такими показниками: сухий залишок - 1450 мг/дм³, загальна жорсткість - 4 мг-екв/дм³. Твердих домішок не виявлено.
6. Контролююча інстанція, частота відбору проб води на хім. та бак. аналізи та дати виконання аналізу, хім. аналізу - 18.04.2026 р.,
бак. аналізу - 19.04.2026 р.

Дані по свердловинах

№ свердловини: відомчий за паспортом	Рік буріння, організація, що виконала буріння свердловини	Глибина свердловини, м	Геологічний індекс водоносного горизонту	Інтервал з'явлення водоemisлюючих порід, м	Літологічний склад водоemisлюючих порід	Насосне обладнання				Водовідбір		Глибина до рівня підземних вод				Експлуатаційний тип свердловини (діюча, резервна, законсервована, підлягає ліквідації)
						тип	глибина заглибки труби, м	продуктивність, м ³ /год	кількість годин роботи на добу	за дозволом на спец. волокористування, м ³ /доб	фактичний, загальний, тис. м ³ /рік	за паспортом	при обстеженні	статичний	динамічний	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1/НГУ	1.04.2026 ТОВ ІПГ "Дніпрогідробуд"	101,6N ₁ ,N ₂	70,0- 90,0	пісок дрібнозернистий	Grundfos SQE 5- 60	75,0	7,2	8,0	100	2,9	57	85	-	-	-	діюча, господарсько- питне водопостачання

7. Використання підз. вод ($\text{м}^3/\text{добу}$, тис. $\text{м}^3/\text{рік}$) згідно дозволу на спеціальне водокористування № 02554 від 15.04.2026 р, дійсного до 15.04.2027 р.

Нормативно-розрахункове - 100 $\text{м}^3/\text{доб}$ Фактичне - _____

- господарсько-питне водопостачання _____ так _____

- виробничо-технічне водопостачання: _____

- зрошення: _____

- комерційно-торгівельне використання: _____

- використання для бальнеологічних цілей: _____

- лікувальне пиття _____

- скид підземних вод без використання: _____

8. Наявність розподільних водопровідних мереж: _____ відсутня _____

9. Наявність та кількість спостережних свердловин: _____ відсутня _____

10. Наявність проекту зон санітарної охорони: _____ проект _____

розроблено ТОВ ППГ «Дніпрогідробуд» _____

11. Стан зон санітарної охорони: _____ задовільний _____

12. Стан гирла свердловини: _____ задовільний; не обладнано для заміра рівня підземних вод _____

13. Наявність лічильників, витратомірів, засобів виміру рівня: _____

лічильник СТВ-65, зав. № 2794 _____

14. Наявність затверджених або апробованих запасів підземних вод (категорія, кількість $\text{м}^3/\text{добу}$, інстанція, що затвердила або апробувала запаси, № та дата протоколу): _____ відсутня _____

15. Необхідність затвердження або перезатвердження запасів: _____ відсутня _____

16. Наявність спеціального дозволу (ліцензій) на користування надрами (експлуатацію підземних вод) _____ відсутня _____

17. Рекомендації по подальшій експлуатації водозабору: обладнати свердловину п'єзометричною трубкою для заміра рівня води _____

18. Особливий погляд водокористувача _____ з викладеним згоден _____

Підписи:

Представник ТОВ Промислово-геологічної групи "Дніпрогідробуд"

інженер - гідрогеолог

_____ Андріяк В.С.

Представник водокористувача

_____ *Г.М. Бойко* Бойко Г.М.



ДОДАТОК Д

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
(НТУ «ДП»)

ЗАТВЕРДЖУЮ:



Проректор з наукової роботи

Ігор НІКІТЕНКО

грудень 2023р.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДУ

ІНВЕРСНО-ГРАВІЙНОГО КОМПОЗИТУ

Науковий керівник

Андрій СУДАКОВ

Дніпро
2023

ДОДАТОК Е

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
(НТУ «ДП»)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи

Ігор НІКІТЕНКО



"29" грудня 2023р.

МЕТОДИКА

ВИГОТОВЛЕННЯ ІНВЕРСНО-ГРАВІЙНОГО ЕЛЕМЕНТА
ІНВЕРСНОГО ГРАВІЙНОГО ФІЛЬТРА БЛОКОВОГО ТИПУ

Науковий керівник

Андрій СУДАКОВ

Дніпро

2023

ДОДАТОК Є

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
(НТУ «ДП»)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи

Ігор НІКІТЕНКО



"29" грудня 2023р.

ПРОТОКОЛ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДУ
ІНВЕРСНО-ГРАВІЙНОГО КОМПОЗИТУ

Комісія у складі:

Голова

Андрій СУДАКОВ, д.т.н., г.н.с.,
науковий керівник

та членів комісії:

Аліна ЗАГРИЦЕНКО д.т.н., п.н.с.
відповідальний виконавець

Євген КОРОВЯКА, к.т.н., с.н.с.

Валерій Расцветаев, к.т.н., с.н.с.

Андрій Шумов, м.н.с., аспірант
кафедри