

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

Сучасні гірничодобувні підприємства функціонують у складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах, що супроводжуються високим рівнем техногенного навантаження на природне середовище. Особливої актуальності ця проблема набуває для районів розробки титано-цирконієвих родовищ, де поширені водонасичені піщані ґрунти, спостерігається значна фільтраційна активність підземних вод і можливі деформаційні процеси у масиві порід. У таких умовах забезпечення стійкості укосів, основ і фундаментів інженерних споруд є одним із ключових завдань безпечної експлуатації гірничих об'єктів. Недостатня стійкість ґрунтових масивів може призводити до зсувних процесів, деформації конструкцій і виникнення аварійних ситуацій, що потребує впровадження ефективних інженерних рішень для підвищення рівня безпеки.

Одним із перспективних напрямів забезпечення стійкості ґрунтових масивів у складних гідрогеологічних умовах є застосування шпунтових огорож. Такі конструкції широко використовуються для укріплення укосів, захисту котлованів і стабілізації ґрунтів в зонах підвищеної водонасиченості. Шпунтові огорожі виконують функцію інженерного бар'єра, який обмежує переміщення ґрунтових мас, зменшує фільтраційні потоки та підвищує загальну стійкість конструктивних елементів споруд. Однак традиційні шпунтові системи не завжди забезпечують необхідний рівень герметичності та довговічності при тривалому впливі агресивного середовища, що характерно для умов гірничих виробок і кар'єрів.

У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення конструкції шпунтових огорож з урахуванням специфіки складних гірничо-геологічних умов. Особливу увагу приділяють підвищенню герметичності стикових з'єднань шпунтових профілів, застосуванню ефективних антикорозійних покриттів, а також впровадженню додаткових протифільтраційних елементів. Такі рішення дозволяють зменшити інтенсивність фільтраційних потоків через огорожу, підвищити її стійкість до дії підземних вод та забезпечити більш надійний захист прилеглих конструкцій. Додатковим фактором підвищення надійності є використання армувальних елементів і оптимізація геометричних параметрів шпунтових профілів, що сприяє підвищенню їх несучої здатності та опору деформаціям.

Для оцінки ефективності запропонованих технічних рішень виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану ґрунтового масиву із застосуванням методу скінченних елементів. Результати моделювання показали, що застосування удосконалених шпунтових профілів дозволяє зменшити горизонтальні переміщення ґрунтового масиву в середньому на 25–30 % порівняно з традиційними конструкціями. При цьому коефіцієнт стійкості укосу збільшується з 1,18 до 1,34, що свідчить про підвищення загальної стабільності обґрунтованої системи.

Результати проведених досліджень свідчать, що комплексне вдосконалення шпунтових конструкцій дозволяє значно підвищити ефективність інженерного захисту у водонасичених ґрунтах. Застосування модернізованих профілів із герметизованими стиками та антикорозійним захистом сприяє зниженню фільтраційних процесів, зменшенню деформацій ґрунтового масиву та підвищенню довговічності конструкцій. Це особливо важливо для гірничих об'єктів, розташованих в районах із складними гідрогеологічними умовами, де надійність інженерних споруд безпосередньо пов'язана з безпекою виробництва.

Практичне впровадження удосконалених шпунтових систем може стати ефективним засобом підвищення безпеки будівництва та експлуатації об'єктів у кар'єрних умовах. Використання таких конструкцій дозволяє стабілізувати ґрунтові масиви, обмежити розвиток небезпечних геодинамічних процесів та забезпечити надійну роботу інженерних споруд. Подальші дослідження доцільно спрямувати на чисельне моделювання роботи шпунтових огорож у різних гідрогеологічних умовах, оптимізацію їх конструктивних параметрів та оцінку довготривалої стійкості при дії фільтраційних і динамічних навантажень.