

Реферат до наукової роботи:

**«Наукове обґрунтування стійкості природно-техногенних масивів
при розробці залізорудних родовищ»**

Автори роботи: Петльований М.В., Шустов О.О., Зубко С.А., Шерстюк Є.А.

Актуальність роботи.

В надрах України знаходяться значні запаси залізних руд. Україна посідає перше місце в світі за кількістю розвіданих запасів залізних руд, які оцінюються в 30 млрд т, а в перерахунку на вміст чистого заліза – четверте місце після Росії, Бразилії та Австралії. Гірничорудна галузь у складі гірничо-металургійного комплексу (ГМК) займає провідне місце в економіці України та забезпечує значні валютні надходження від експорту залізорудної сировини. Так, в 2018 р. експорт залізорудної сировини та концентрату склав 2,86 млрд. дол. за даними Державної фіскальної служби України. Первинною сировиною у функціонуванні ГМК є сира залізна руда, видобуток якої здійснюється як підземним, так і відкритим способами.

Щорічно в Україні видобувається близько 130 млн. т залізної руди, причому 90 % видобутку складає відкритий спосіб, підземний спосіб – 10 %. Інтенсивний видобуток залізних руд приводить до відчутних змін у навколишньому середовищі: утворюються значні порожнини в гірському масиві, що призводить до деформацій денної поверхні; порушуються природні режими підземних та поверхневих вод; складування відходів видобутку та збагачення залізних руд займають цінні сільськогосподарські землі та є джерелом їх забруднення.

За більш ніж 100-річний період видобутку залізних руд гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови розробки родовищ суттєво змінились. Так, збільшилась глибина кар'єрів та шахт, що призводить до підвищення рівня гірського тиску та зниження стійкості масивів гірських порід і, відповідно, умов безпечного ведення гірничих робіт, спостерігається зниження якості видобутої залізорудної сировини та підвищення собівартості її видобутку.

Технологічний процес видобутку залізних руд відбувається в умовах природно-техногенного середовища. На першому етапі розробки родовищ видобуток здійснюється в умовах природного геологічного масиву, проте, з розвитком гірничих робіт формується техногенне середовище. При відкритій розробці внаслідок видобутку формуються відвали пустих та розкритих порід, при підземній розробці – відвали порід або штучні закладні масиви при застосуванні систем розробки

із закладанням, що є по суті техногенними масивами. Значні обсяги видобування корисної копалини призводять до постійного зростання кількості техногенних масивів рудних родовищ та їх ролі у загальній системі природокористування.

У залежності від характеру впливу комплексу гірничо-геологічних та гірничотехнічних факторів на процес видобутку залізних руд порушується стійкий стан природних та техногенних масивів, що призводить до їх деформацій у формі обвалень, вивалів, зсувів, які є одним з визначальних факторів погіршення безпеки ведення гірничих робіт, втрат і збіднення видобутих руд, зменшення обсягів видобутку. При підземній розробці родовищ найбільш важливим є дослідження геомеханічних процесів у гірському та штучному масиві, що оточує видобувні камери, при відкритій – геомеханічних та геофільтраційних процесів, що відбуваються при формуванні видобувних уступів та укосів відвалів в процесі їх експлуатації. Результати досліджень цих процесів складають основу для наукового обґрунтування технічних заходів з підвищення стійкості природно-техногенних масивів при видобутку залізних руд.

В умовах сьогодення, які характеризуються посиленням світової конкуренції на ринку залізорудної сировини, коли відбувається суттєве зростання глибини ведення гірничих робіт і збільшується вірогідність виникнення деформацій та руйнувань масиву, забезпечення стійкості природно-техногенних масивів є актуальним питанням для гірничорудної галузі як в частині безпеки ведення гірничих робіт, так і підтримання якісних характеристик сировини та покращення техніко-економічних показників видобутку в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на кафедрах гірничої інженерії та освіти, відкритих гірничих робіт і гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Автори роботи приймали безпосередню участь як виконавці у найважливіших держбюджетних роботах Міністерства освіти і науки України на період 2010-2020 рр.: «Дослідження проявів гірського тиску і деформацій гірського масиву в результаті ведення очисної виїмки при відпрацюванні потужного крутоспадного покладу в поверхах 605 ... 740 ... 840 м в умовах Запорізького залізорудного комбінату» (№ держреєстрації 0110U002388); «Дослідження процесів деформацій прилеглого до виробленого простору гірського масиву на моделях з еквівалентних матеріалів при відпрацюванні міжкамерних ціликів висотою в два поверхи між закладеними камерами в відмітках 640 ... 840 м. Моніторинг стану підроблюваного масиву поверху 301 ... 330 м в умовах Запорізького залізорудного комбінату» (№ держреєстрації 0112U002512); «Дослідження напружень прикон-

турного масиву поляризаційно-оптичним методом при відпрацюванні цілика висотою в два поверхи між закладеними камерами в відмітках 640 ... 840 м в умовах Південно-Білозерського родовища. Шахтні спостереження і вимірювання деформацій приконтурного масиву при веденні очисних робіт в поверхах 605 ... 740 ... 840», (№ держреєстрації 0112U002513); «Наукове обґрунтування методологічної, технологічної, екологічної і правової бази вилучення корисних компонентів з техногенних родовищ України» (№ держреєстрації 0116U004619); «Наукове обґрунтування та розробка енергоефективних маловідходних технологій видобування вуглеводневої та мінеральної сировини» (№ держреєстрації 016U008041); «Розробка екологозберігаючих технологій ведення гірничих робіт з урахуванням потреб в ліквідації та консервації гірничодобувних підприємств» (№ держреєстрації 0115U002301). Госпдоговірні роботи: «Повышение эффективности работы перегрузочных устройств при эксплуатации комбинированных видов транспорта с автомобильным внутривозовым звеном на открытой разработке месторождений Казахстана» НАО “КазНИТУ” им. К.И. Сатпаева; «Видобуток блочного каміння на Токівському родовищі гранітів Філії ВП «Київський кар’єр», ПАТ ГВКК «Біличі» (договір № 110051); «Робочий проект «Будівництво кар’єру та дробильно-сортувального заводу для розробки Одарівського родовища мігматитів і виробництва щебеню» (договір № 1100/50/02-пр/110027); «Комплектация, оптимальное размещение и высокопроизводительное использование комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров» (договір № 2018/АР05133548, НАО “КазНИТУ” им. К. И. Сатпаева); «Проект кінцевого контуру відвалу №2 Петровського кар’єру ПрАТ «ЦГЗК» (договір № 996-13-04); «Розробка міграційної моделі та прогноз стану підземної гідросфери при будівництві відвалу №5 у складі розділу ОВНС проекту «Відробка Інгулецького родовища кар’єром ПАТ «ІНГЗК» (договір № 4402/14147/040835); «Дослідження закономірностей формування кар’єрних водопритоків та прогнозна оцінка їх величин у зв’язку з розробкою технічних рішень щодо гідрозахисту північно-східного борту кар’єра ПрАТ «ІНГЗК» (м.о. 56 ... 98)» (договір № 040836-17); «Обґрунтування системи моніторингу гідрогеомеханічного стану порушеної гірничими роботами території ПрАТ «ІНГЗК» на основі аналізу сучасних гід-родинамічних, геомеханічних і геофізичних полів для розробки заходів щодо попередження над-звичайних ситуацій при входженні північного борту кар’єру в зону зрушень підземних гірничих виробок шахти «Центральна» (договір № 040839-19).

Мета роботи полягає у науковому обґрунтуванні параметрів і принципів формування стійкого стану природних та техногенних масивів при розробці залі-

зородних родовищ на основі встановлення характеру та закономірностей розвитку геомеханічних, геофільтраційних та фізико-хімічних процесів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано і вирішено наступні задачі:

- виконати аналіз сучасних тенденцій та перспектив промислового освоєння розвіданих запасів залізородних родовищ України й узагальнення існуючих технологій їх розробки;

- розкрити уявлення щодо формування природно-техногенних масивів в процесі розробки залізородних родовищ й сформулювати основні геомеханічні та гідромеханічні проблеми їх стійкості;

- розробити нові й вдосконалити існуючі методики та алгоритми проведення комплексу досліджень з формування стійких природно-техногенних масивів залізородних родовищ при їх розробці;

- дослідити ступінь впливу геологічної будови рудних родовищ на показники якості видобутку залізних руд;

- встановити закономірності формування полів напружень та розвитку деформаційних процесів в природному та закладному масиві рудних родовищ при підземних гірничих роботах;

- встановити закономірності утворення стійкої хімічної структури та підвищення міцнісних характеристик закладного масиву та параметрів його формування у виробленому просторі;

- виконати комплексні геодезичні, інженерно-геологічні, геофізичні дослідження стану зсувних процесів при формуванні відвалів кар'єрних порід;

- встановити закономірності та розробити прогноз розвитку геофільтраційних та гідрогео механічних процесів в умовах зсувонебезпечних масивів;

- розробити комплекс ресурсозберігаючих заходів з підвищення стійкості конструктивних елементів систем розробки та ефективних схем формування закладного масиву;

- розробити технічні заходи гідрозахисту зсувонебезпечних поверхневих техногенних масивів та прибортових зон кар'єрів в умовах постійного обводнення, зумовленого забезпеченим фільтраційним живленням;

- виконати оцінку економічної доцільності оптимізації стійких параметрів систем розробки схеми диференційного формування закладного масиву та заходів з підвищення стійкості масиву відвалів порід при розробці залізородних родовищ.

Ідея роботи полягає в урахуванні закономірностей зміни кількісно-якісних величин та параметрів геомеханічних, гідрогео механічних та фізико-хімічних процесів при видобутку залізних руд для розробки ресурсозберігаючих заходів з

підвищення стійкості природно-техногенних масивів.

Об'єкт дослідження – процеси порушення стійкості природно-техногенних масивів в технологічному процесі видобутку залізних руд підземним та відкритим способами.

Предмет дослідження – закономірності розвитку геомеханічних, гідрогеомеханічних та фізико-хімічних процесів у природно-техногенних масивах, що характеризують їх стійкий стан.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань використано комплексний методологічний підхід, який містить: аналіз та узагальнення світових та вітчизняних літературних та інформаційних джерел з проблематики дослідження; використання загальноприйнятих фундаментальних теорій та положень механіки гірських порід та хімії в'язучих матеріалів; застосування фізичного моделювання деформаційних процесів на еквівалентних матеріалах; фізичне моделювання геомеханічних процесів на активних оптико-поляризаційних матеріалах; комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів з використанням програмного пакету SolidWorks 2016; чисельне моделювання геофільтраційних процесів у програмному комплексі MODFLOW 2009.1; статистичний аналіз даних маркшейдерських вимірювань руйнувань та деформацій гірського масиву; геофізичний метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі; фізико-хімічні методи інфрачервоної спектроскопії та растрової електронної мікроскопії, лабораторні дослідження властивостей та параметрів закладних сумішей та затвердлого масиву, промислові інструментальні вимірювання геомеханічного стану природних та техногенних масивів.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше виявлено кількісний взаємозв'язок величини та інтенсивності обвалень вміщуючих порід всячого боку зі зміною їх морфологічного складу, міцнісної характеристики, кутом падіння та потужністю рудного покладу;

– вперше встановлено, що напруження порід всячого боку рудного покладу зменшуються у 3 рази шляхом залишення рудного цілика, рівного 0,5 ширини очисної камери в слабких породах;

– вперше встановлені експоненціальні залежності зміни величин деформацій та коефіцієнту концентрації напружень у масиві зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт та відстані від контуру камер в сторону порід всячого боку;

– вперше встановлено граничне значення питомої поверхні часток доменного шлаку та вапняку у формуванні структури закладного масиву, вище якого його міцність не змінюється;

– виявлені нові стійкі форми структурних утворень у закладному масиві залежно від хімічного складу при різній питомій поверхні частинок шлаку та вапняку; це дозволяє кількісно визначати збільшення міцності твердіючого закладення при різних структурних формах;

– доведено, що тренд зменшень напружень спрямований на підвищення міцності штучного масиву на контурі його відслонення очисними роботами, причому зміцнення шару штучного масиву на 30% зменшує зону стискаючих напружень у два і більше разів у вертикальному та горизонтальному напрямках;

– встановлено пряму залежність величин кар'єрних водопритоків від гіпсометричного положення подошви шару різнозернистих гравелистих пісків в межах контуру їх розкриття бортом кар'єру;

– встановлений вплив локальних зон низхідного розвантаження алювіального горизонту в тріщинувату зону корінних порід на умови формування кар'єрних водопритоків, що визначає характер обводнення бортів кар'єру та їх стійкість.

– встановлено, що гідродинамічний вплив породного відвалу в межах борту кар'єру визначається рівнем інфільтраційного живлення ділянки розташування відвалу та наявністю шару слабопроникних ущільнених порід в його подошві, що сприяє формуванню в нижньому інтервалі складованих порід водонасиченої зони;

– обґрунтовано параметри спеціальних споруд з попередження деформаційних зсувних процесів: гідрозахисту борту кар'єру з використанням протифільтраційної завіси та дренажно-утримуючих призм для породних відвалів.

– надано кількісно-якісну оцінку геомеханічного стану відвалу пустих порід з концентрацією напружень в середній частині відвалу та визначені коефіцієнти стійкості, що свідчать про достатньо стійке положення укосів відвалу;

– встановлено залежність обсягу порід розкриття, що захищаються від порушення, від збільшенні кута укосу борту кар'єра зі зростанням його висоти;

– встановлено, що застосування габіонних сітчастих виробів є економічно доцільним в умовах розвитку відкритих гірничих робіт на глибину до 1000 м – за рахунок зниження обсягу порушеного масиву гірських порід.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей розвитку геомеханічних, гідродинамічних та фізико-хімічних процесів у природних та техногенних масивах в процесі розробки запасів залізородних родовищ, що дозволяє обґрунтувати параметри й принципи забезпечення їх стійкого стану та розробити ефективні ресурсозберігаючі заходи з підвищення їх стійкості та надійності.

Практичне значення роботи:

– розроблено комплексний методичний підхід з дослідження й прогнозу ге-

омеханічних та гідрогеомеханічних процесів у природних та техногенних масивах рудних родовищ;

- удосконалено існуючу методику визначення стійких параметрів камерних систем розробки із закладкою виробленого простору;

- удосконалено технологію відпрацювання камер висячого боку покладу в слабких породах;

- розроблено узагальнений графік для вибору складу закладної суміші від необхідної міцності закладного масиву з прогнозом його структури;

- розроблено рекомендації щодо складання технологічної схеми та порядку формування стійкого різноміцнісного закладного масиву в поверсі 840-940 м;

- обґрунтовано параметри гідрозахисту зсувонебезпечних поверхневих техногенних масивів для забезпечення їх гідрогеомеханічної стійкості в умовах розвитку гірничих робіт.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджуються використанням апробованих методів аналітичних, комп'ютерних (чисельних) і експериментальних досліджень, відповідності основним положення теорії деформації пластичних, пружно-пластичних систем механіки гірських порід, вирішенням зворотних задач, достатнім обсягом виконаних експериментів і високою відповідністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень (збіжність отриманих результатів складає 73-95%). Відповідність результатів експериментальних досліджень забезпечувалася застосуванням спеціального сертифікованого обладнання.

Загальнодержавне значення отриманих результатів роботи. Стале функціонування гірничо-металургійного комплексу та експорт його продукції на 40% забезпечує грошові надходження до державного бюджету від загального експорту України. Ринкова ціна залізної руди формується в залежності від масової частки заліза що міститься в ній, і для успішного експорту, а, отже, і рентабельності виробництва, необхідно витримувати якісні характеристики, щоб уникнути втрати її конкурентоспроможності. Погіршення умов розробки залізорудних родовищ, викликане інженерною діяльністю людини, призводить до зниження стійкості природних та техногенних масивів, що погіршує якісні характеристики корисної копалини та підвищує елементи собівартості видобутих руд. Це суттєво впливає на стабільність, ритмічність та важливі фінансові показники ефективності функціонування гірничих підприємств і, відповідно, обсяги експорту продукції гірничо-металургійного комплексу. Тому використання науково-технічних результатів представленої наукової роботи має загальнодержавне значення у сенсі підвищення

техніко-економічних показників діяльності гірничорудних підприємств.

Реалізація результатів роботи. Масштаби реалізації результатів роботи підтверджуються їх впровадженням в проектну документацію ПрАТ Петровський кар'єр «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» комплексу науково-технічних рішень з підвищення стійкості відвалу кар'єрних порід №2 (2019 р), розробленням комплексу технічних заходів з гідрозахисту північно-східного борту кар'єра ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» (2017 р.), розробленням рекомендацій щодо визначення стійких параметрів очисних камер у слабких вміщуючих породах та рекомендацій з формування стійкого закладного масиву для умов ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (2013, 2014 р.).

Значимість одержаних результатів у порівнянні з кращими вітчизняними та світовими аналогами. Нові наукові та практичні результати отримано із застосування принципово нового комплексного методичного підходу, рівень наукових розробок є високим та конкурентоспроможним на світовому ринку. Аналогів роботи немає, отримані наукові результати встановлено вперше. Розкрито уявлення щодо формування природно-техногенних масивів залізорудних родовищ в процесі їх розробки підземним та відкритим способами. Встановлено нові закономірності розвитку геомеханічних, гідрогеомеханічних та фізико-хімічних процесів у природних та техногенних масивах та визначені ключові параметри та принципи підвищення їх стійкості. Розроблені технічні рішення характеризуються новизною, оригінальністю та ґрунтуються на принципі ресурсозбереження. Основними закладами, які ведуть наукові дослідження, близькі за напрямом до поданої роботи, є Криворізький національний університет (Україна), Казахський НДТУ ім. К.І. Сатпаєва (Казахстан), University of Western Australia (Австралія), Санкт-Петербурзький гірничий університет (Росія), Університет гірництва та технологій (Китай).

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях, форумах і семінарах: Innovative development of resource-saving technologies of mineral mining and processing (Romania, Petrosani, 2018, 2019); Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики (Алматы, 2019); Школа підземної розробки (Бердянськ, 2014-2018); Сучасний рух науки (Дніпро, 2019); Сучасні технології розробки рудних родовищ (Кривий Ріг, 2018); Physical & Chemical Geotechnologies (Дніпро, 2018, 2019), «Наукова весна» (Дніпро, 2012, 2016, 2017, 2018, 2019); Молодь: наука та інновації» (Дніпро, 2017, 2018); Форум гірників (Дніпро, 2017,

2018); Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (Кривий Ріг, 2016, 2017); Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання (Дніпро, 2013); Міжнародний форум-конкурс молодих учених «Проблеми недропользования» (Санкт-Петербург, Росія, 2010, 2013); Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках (Алушта, 2012), Геомеханические аспекты и экологические последствия отработки рудных залежей (Кривой Рог, 2012).

Публікації. За результатами роботи опубліковано 110 наукових праць, серед яких: колективна монографія та 2 колективні розділи закордонної монографії; 2 навчальні посібники; 31 стаття у журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science; стаття у закордонних журналах; 34 фахових статті з переліку МОН України; 35 статей та тез доповідей у матеріалах закордонних та вітчизняних конференцій; 4 патенти на винахід.

За напрямом представленої наукової роботи захищено 3 кандидатські дисертації та одна кандидатська дисертація готується до захисту.

h-індекс роботи за наукометричними базами даних: Scopus – 7; Web of Science – 3; Google Scholar – 13.

Автор роботи,
кандидат технічних наук



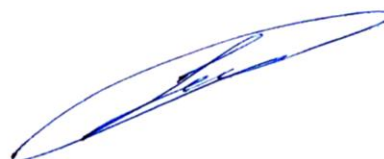
М.В. Петльований

Автор роботи,
кандидат технічних наук



О.О. Шустов

Автор роботи,
кандидат технічних наук



С.А. Зубко

Автор роботи



Є.А. Шерстюк