

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Петльованого Михайла Володимировича на тему «Наукові основи комплексної ліквідації техногенних пустот із використанням відходів гірничо-металургійного комплексу», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин та 21.06.01 – екологічна безпека

Відгук офіційного опонента сформовано на основі детального вивчення основного змісту дисертаційного дослідження, опублікованих автором наукових праць та матеріалів, що засвідчують практичне використання отриманих здобувачем результатів.

Оцінка ступеня актуальності обраної теми досліджень

Підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових регіонів є однією з важливих складових раціонального природокористування та принципів сталого розвитку. Тривале освоєння родовищ корисних копалин підземним та відкритим способами супроводжується формуванням нових природно-техногенних систем, у межах яких геомеханічні процеси, зміни стану земної поверхні, накопичення промислових відходів і негативний вплив на компоненти довкілля мають взаємопов'язаний характер. Особливо гостро зазначена проблема проявляється в великих гірничорудних регіонах, зокрема в Криворізькому залізничному басейні, де багаторічне ведення підземних і відкритих гірничих робіт зумовило утворення складної системи техногенних об'єктів: провальних зон, непогашених підземних пустот, вироблених просторів закритих кар'єрів, хвостосховищ і відвалів пустих порід. Накопичені багатотоннажні відходи гірничо-металургійного комплексу, які оцінюються у понад 11 мільярдів тонн, створюють екологічні ризики, пов'язані із забрудненням компонентів довкілля, вилученням земель із господарського використання, погіршенням стану прилеглих ландшафтів, а утворені техногенні пустоти чинять негативний вплив як на перебіг поточних гірничих робіт, так і на безпеку інфраструктури та населення. Наявні в регіоні заходи гірничотехнічної рекультивациі із використанням пустих відвальних порід мають локальне застосування, не забезпечують достатньої геомеханічної ефективності та залучення інших відходів гірничо-металургійного комплексу.

У таких умовах особливої значущості набуває розроблення науково обґрунтованих підходів і принципів, спрямованих не лише на керування геомеханічним станом масиву гірських порід навколо техногенних пустот, сформованих унаслідок підземних і відкритих гірничих робіт, а й на комплексне покращення техногенно-екологічної ситуації шляхом обмеження розвитку деформацій земної поверхні та розширення екологічнобезпечної утилізації відходів гірничо-металургійного комплексу.

Тематика дослідження має вагоме національне значення, оскільки екологічна безпека постмайнінгових територій безпосередньо залежить від стану масиву гірських порід, стійкості земної поверхні, рівня накопичень промислових відходів та ефективності технологічних рішень щодо ліквідації підземних і поверхневих пустот. Посилення завдань геомеханічної стабілізації, раціонального використання техногенної сировини та зменшення екологічного навантаження свідчить про комплексний і міждисциплінарний характер обраного напрямку досліджень.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є сучасною, науково обґрунтованою та практично важливою для підвищення рівня екологічної безпеки гірничодобувних регіонів, удосконалення підходів до ліквідації техногенних пустот і впровадження принципів раціонального надрокористування.

Зв'язок теми дисертаційного дослідження з державними програмами, планами та науковими темами

Тематика дисертаційної роботи відповідає положенням Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року (Закон України № 3268-VI від 21.04.2011 р.), Закону України «Про управління відходами» (№ 2320-IX від 20.06.2022 р.), Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження КМУ № 820-р від 08.11.2017 р.), а також Директиви Європейського Парламенту і Ради 2006/21/ЄС про управління відходами видобувної промисловості, імплементація якої передбачена в межах Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Закон України № 1678-VII від 16.09.2014 р.). На регіональному рівні тематика дисертації відповідає напрямкам Регіонального плану управління відходами у Дніпропетровській області до 2030 року.

Дисертаційне дослідження також виконано в межах і в тісному зв'язку з низкою науково-дослідних робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», пов'язаних із напрямом дисертації. Здобувач брав безпосередню участь у їх виконанні як науковий керівник, відповідальний та

основний виконавець, зокрема у 4 держбюджетних науково-дослідних роботах, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України, 1 грантовому проєкті Національного фонду досліджень України та 2 госпдоговірних темах на замовлення гірничодобувних підприємств.

Вищезазначене засвідчує, що дисертаційна робота відповідає актуальним державним, регіональним і галузевим пріоритетам у сфері раціонального надрокористування, управління відходами та підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових регіонів, а здобувач має суттєвий досвід виконання та організації науково-дослідних робіт.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у докторській дисертації, їх достовірність та новизна

На основі детального вивчення дисертаційного дослідження здобувачем сформульовано та обґрунтовано 4 наукові положення, у яких логічно поєднуються основні нові наукові результати. Слід зазначити, що викладені в дисертаційній роботі наукові положення є достатньо аргументованими, характеризуються новизною результатів, покладених в їх основу, та належним ступенем достовірності.

Достовірність отриманих результатів, висновків і рекомендацій, що належать до спеціальності 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин, підтверджується коректністю постановки та вирішенням задач із використанням апробованих положень механіки гірських порід, будівельної механіки, механіки суцільного та сипучого середовищ, методів математичної статистики; достатнім обсягом аналітичних, експериментальних і чисельних досліджень; належним ступенем відповідності результатів аналітичних досліджень та чисельного моделювання (збіжність результатів 73–89%). Достовірність результатів, отриманих у межах спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека, підтверджується використанням сучасних й апробованих методів досліджень; обробкою значного масиву даних просторово-часових змін стану ґрунтово-рослинного покриву під впливом розвитку провальних зон (зокрема нормалізованого вегетаційного індексу за даними дистанційного зондування земної поверхні); а також застосуванням апробованих сучасних методів статичного вилуговування основних забруднюючих речовин за «найгірших умов» контактуючого водного середовища як з дрібнодисперсних відходів, так і при їх трансформації в монолітний масив.

За результатами вивчення дисертаційної роботи можна констатувати, що отримані здобувачем наукові результати мають ознаки наукової новизни.

Вперше:

– розроблено концепцію комплексної ліквідації різнотипних техногенних пустот на території гірничо-промислових регіонів, у якій досягається синергетичний ефект стабілізації земної поверхні й масиву та утилізації екологічно небезпечних відходів гірничо-металургійного комплексу, що забезпечує перехід від локальних заходів до системного управління техногенно-екологічною безпекою;

– виявлено механізм формування перехідного приграничного стану масиву порід навколо підземних пустот між стійким і нестійким, межі якого описуються логарифмічними залежностями від глибини та кута падіння покладу й ідентифікація якого є критерієм доцільності ліквідації пустот;

– встановлено закономірності зв'язку міцності з параметрами електропровідності (пікове значення, час настання піку), що дозволяє здійснювати оперативний прогноз якості суміші та міцності штучного масиву техногенних пустот;

– виявлено логарифмічний характер розвитку площі провальних зон шахт у просторі та часі з кількісною оцінкою його впливу на деградацію ґрунтово-рослинного покриву у постактивній фазі обвалення.

Уточнено:

– ефект часткового блокування деформацій земної поверхні провальних пустот через формування упорної призми з монолітного масиву, який при кутах відкосу провалу понад 50° та підвищенні жорсткості масиву зростає за поліноміальною залежністю, локалізуючи зони впливу та зменшення деформацій до 30%;

– експоненціальну залежність необхідної міцності пастового закладання при ліквідації підземних пустот від параметрів їх приграничного стану $H/L_{кр}$, яка збільшується при зменшенні кута падіння покладу і є основою для проєктування складу суміші зі збереження суцільності штучного масиву;

– ефект іммобілізації забруднюючих речовин та токсичних елементів цементною матрицею закладного масиву, сформованого з відходів збагачення залізних руд, за умов найгіршого сценарію агресивного середовища;

– критичні умови формування однорідного пастоподібного стану закладних сумішей на основі хвостів збагачення, які, на відміну від традиційних рецептур, передбачають сумарний вміст твердої фази на рівні 75% (з яких 4,5% – в'язучий матеріал), що забезпечує оптимальний баланс між транспортабельністю суміші та міцністю штучного масиву;

– поліноміальні закономірності впливу частки та фракційного складу дроблених відвальних порід на міцність пастового закладання, що обґрунтовує оптимальний розмір фракції 15 мм та її вміст у суміші 10–15% і забезпечує приріст міцності штучного масиву на 26–33%;

– систему закономірностей комплексного впливу вмісту твердої фази та дозування в'язучого на реологічні та фізико-механічні властивості пастових сумішей, що дозволяє керувати параметрами транспортування та формування штучного монолітного масиву.

Дістало подальшого розвитку:

– методологія чисельного моделювання складних геомеханічних процесів залізородних родовищ через врахування структурної неоднорідності геологічного середовища на основі інтеграції нелінійного критерію Хоека-Брауна та лінійного критерію Мора-Кулона, що забезпечує реалістичність їх фізичної сутності;

– напрям утилізації хвостів збагачення у складі пастових закладних сумішей як відходів з найвищим техногенним навантаженням на основі вдосконаленої системи інтегрального їх ранжування, розробленої класифікації технологій закладання за видовим різноманіттям відходів і виявленої сукупності раціональних індикаторів їх використання.

Вважаю, що проведені здобувачем дослідження, які лягли в основу наукових положень та наукової новизни, отримані й доведені автором особисто, є оригінальними та сприяють розв'язанню важливої науково-прикладної проблеми. Вона полягає у формуванні наукових основ комплексної ліквідації техногенних пустот, утворених під час видобування корисних копалин, із екологічнобезпечним залученням й утилізацією широкого спектра відходів гірничо-металургійного комплексу для створення штучних масивів, що дозволяють керувати станом порушеного масиву гірських порід і забезпечують підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових регіонів.

Ступінь наукової новизни отриманих результатів чітко та коректно розмежовано з урахуванням попередніх досліджень науковців за близькою за змістом тематикою, а сам виклад матеріалу характеризується високою логічністю.

Характеристика структури та змісту дисертаційної роботи, повноти викладу результатів у опублікованих наукових працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (318 найменувань на 34 сторінках) і 6 додатків (на 8 сторінках), 174 рисунків, 79 таблиць. Обсяг основного тексту дисертації

становить 509 сторінок, з них 16 – повністю займають рисунки та таблиці площею на всю сторінку. Загальний обсяг роботи – 584 сторінки. Значний обсяг роботи зумовлений комплексним характером сформульованої наукової проблеми, для розв'язання якої здобувачем застосовано широкий спектр сучасних методів дослідження, що відповідають світовому рівню. Дисертація також має суттєву кількість виконаних теоретичних, експериментальних і чисельних досліджень, що охоплюють специфіку двох спеціальностей.

Структура дисертаційної роботи є логічною, послідовною та характеризується єдністю змісту. Зміст роботи побудовано за принципом поступового переходу від аналізу сучасного стану проблеми впливу підземної та відкритої розробки родовищ на масив гірських порід, земну поверхню і довкілля до оцінювання техногенно-екологічної небезпеки сформованих пустот і накопичених відходів гірничо-металургійного комплексу. Подальша логіка дослідження охоплює аналітичне обґрунтування параметрів стійкості закладних масивів, комплекс експериментальних досліджень фізико-хімічних, реологічних і міцнісних властивостей пастових та комбінованих закладних сумішей, чисельне моделювання геомеханічних процесів у порушеному масиві, а також розробку науково-технічних рішень і методик комплексної ліквідації техногенних пустот.

Слід зазначити, що отримані в роботі наукові результати за їх характером, структурою та викладенням відповідають паспортам спеціальностей 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин та 21.06.01 – екологічна безпека.

Основні результати дисертаційного дослідження достатньо повно висвітлені у наукових працях здобувача, загальна кількість яких становить 72 публікації. Варто відзначити, що результати роботи оприлюднені у 16 виданнях, які індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, у тому числі 8 – у журналах з квартилем Q1-Q2. Результати також опубліковані у низці фахових наукових виданнях України, розділах монографій, матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій, що підтверджує належний рівень апробації результатів дослідження. Отримано патенти на корисні моделі, що свідчить про прикладну спрямованість розроблених науково-технічних рішень. Важливо, що у публікаціях представлено результати за двома спеціальностями 05.15.02 та 21.06.01, за якими захищається дисертаційна робота.

Вважаю, що повнота оприлюднення основних положень дисертації є достатньою, а рівень публікаційної активності здобувача відповідає рівню та вимогам до сучасних докторських досліджень.

Теоретичне і практичне значення роботи для української та світової науки

Теоретичне значення роботи полягає у формуванні теоретико-методологічних засад керування геомеханічним станом масиву гірських порід та земної поверхні шляхом застосування адаптованого екологобезпечного способу пастового закладання. Ці засади ґрунтуються на виявлених закономірностях взаємозв'язку компонентного складу сумішей з параметрами масиву, що дозволило встановити їхній оптимальний склад, необхідні фізико-хімічні, реологічні й міцнісні властивості, а також обґрунтувати позитивний вплив на трансформацію геомеханічної ситуації та охорону надр.

Сформовані здобувачем засади стали підґрунтям для розробки технології комплексної ліквідації техногенних пустот, утворених видобутком корисних копалин, зменшення розвитку деформацій земної поверхні та ризиків нових обвалень, відновлення земельних площ, досягнення високого рівня утилізації відходів, підвищення техногенно-екологічної безпеки і сталого розвитку гірничорудних регіонів.

Імпонує комплексний та міждисциплінарний підхід у дисертаційному дослідженні, за якого екологічна небезпека техногенних пустот, накопичених відходів гірничо-металургійного комплексу та геомеханічна стійкість масиву гірських порід при підземній розробці рудних покладів розглядаються у взаємозв'язку. Здобувачем доведено, що відходи збагачення та інші техногенні матеріали можуть виступати не лише джерелом антропогенного навантаження на навколишнє середовище, а й ресурсною основою для формування пастових і комбінованих закладних масивів, здатних обмежувати розвиток небезпечних деформацій земної поверхні, стабілізувати порушене природно-техногенне середовище та одночасно зменшувати негативний вплив накопичених відходів. Такий підхід розширює наукові уявлення про комплексне управління техногенно-екологічною безпекою гірничорудних регіонів.

Результати дисертаційної роботи характеризуються високою практичною значущістю. Здобувачем вдосконалено методику досліджень комплексу властивостей закладних матеріалів, пастових сумішей та закладних масивів; розроблено нову технологію комплексної ліквідації різнотипних техногенних пустот; обґрунтовано комбінований спосіб формування закладного масиву закритих кар'єрних пустот з чергуванням шарів пастового та породного закладання як захід рекультивації земної поверхні; розроблено методики розрахунку параметрів ліквідації різнотипних техногенних пустот та методику визначення раціонального розміщення мобільного закладного комплексу між хвостосховищем і техногенними пустотами; складено методику комплексного визначення еколого-

економічного ефекту концепції комплексної ліквідації техногенних пустот; створено нову інформаційно-аналітичну карту геопросторового розташування потенційних закладних матеріалів та утворених техногенних пустот на території України. Практична цінність результатів підтверджується їхнім упровадженням у навчальний процес, діяльність науково-дослідних і проєктних організацій, а також підприємств із виробництва обладнання для гірничо-переробної галузі.

Результати дисертаційного дослідження мають вагомe значення для вітчизняної та світової науки й можуть бути застосовані у різних гірничодобувних регіонах, де внаслідок діяльності підприємств у надрах і на земній поверхні утворено значні техногенні пустоти та накопичено багатотоннажні обсяги хвостів збагачення.

Вважаю, що отримані результати можуть слугувати науковим підґрунтям для розроблення нових природоохоронних заходів, спрямованих на поліпшення стану довкілля, а також бути враховані під час формування місцевих, регіональних чи державних екологічних програм.

Відсутність (наявність) порушень академічної доброчесності

За результатами вивчення дисертації, реферату, основних положень роботи та опублікованих наукових праць здобувача не виявлено ознак порушення академічної доброчесності. Використання наукових ідей, результатів, текстових матеріалів, статистичних даних та інших відомостей, що належать іншим авторам або організаціям, у тексті супроводжується відповідними бібліографічними посиланнями. Зміст дисертації характеризується високим рівнем оригінальності та не містить плагіату. Структура роботи, логіка викладення матеріалу, характер наведених результатів і її оформлення дають підстави стверджувати, що дисертаційне дослідження виконано з дотриманням вимог академічної етики та відповідає вимогам МОН України.

Дискусійні положення та зауваження

1. Автором досліджено та рекомендовано використовувати для виробництва пастової закладної суміші хвости збагачення залізних руд, відібрані з осушених частин хвостосховища. Проте у роботі не зазначено, чи виникатиме додаткове пилове забруднення під час відбору маси закладного матеріалу спеціальною технікою та які заходи пилопригнічення рекомендуються для запобігання такому впливу.

2. У викладі результатів дослідження (п. 2.2) зазначається, що постактивна фаза розвитку провальних зон розпочалася ще у 1990-х роках, проте детальний моніторинг стану рослинного покриву за індексом NDVI виконано лише за період 2016–2025 років, що створює часовий розрив щодо оцінки екологічної динаміки. Також у першому науковому положенні наведено значення зниження індексу рослинного покриву від 0,49 до 0,36 під впливом розширення площі провалу. У зв'язку з цим доцільно було б встановити закономірність зміни індексу NDVI у часі з наведенням відповідного математичного рівняння.

3. Методом дистанційного зондування автором досліджено вплив розвитку провальної зони в часі на показник NDVI, що характеризує стан рослинного покриву, який погіршується протягом останніх 10 років в умовах відносної стабілізації зсувних процесів при підземному видобутку руди. Отриманий результат є важливим і цінним, однак науковий інтерес становить визначення того, які саме види рослин навколо провальної зони виявляють екологічну толерантність, які пригнічуються, а популяції яких уже зникли.

4. У роботі автором запропоновано інтегральну систему оцінювання екологічної небезпеки місць видалення промислових відходів Криворізького регіону за низкою критеріїв. Однак у роботі недостатньо детально пояснено, чому всі критерії прийняті як рівнозначні за своїм внеском у загальний рівень небезпеки (табл. 2.8–2.16). Доцільно було б виконати аналіз чутливості результатів до зміни вагових коефіцієнтів окремих критеріїв, оскільки для різних типів відходів їхня екологічна значущість може бути неоднаковою.

5. У п. 2.5 автор обґрунтовує ступінь екологічної небезпеки накопичених дрібнодисперсних хвостів збагачення на основі опосередкованої оцінки впливу хвостосховища на прилегле водне середовище, тоді як для характеристики вітрового пилопереносу наведено результати дистанційного зондування (рис. 2.12). Проте для більш детального підтвердження негативного впливу хвостосховищ доцільно було б додатково виконати моделювання розсіювання пиловатих часток на прилеглі території.

6. Під час проведення експериментальних досліджень щодо іммобілізації важких металів та інших забруднювальних речовин у водне середовище як безпосередньо з дрібнодисперсних хвостів збагачення, так і з сумішей, трансформованих у монолітний закладний масив, доцільно було б вивчити характер вилуговування за інших складів закладної суміші (наприклад, у разі часткової заміни цементу доменним гранульованим шлаком у рекомендованих автором межах).

7. За результатами чисельного моделювання монолітного закладання техногенного простору провальних зон здобувач доводить досягнення певного ступеня блокування розвитку деформаційних процесів земної поверхні (рис. 6.10 та 6.11). Варто було б деталізувати механізм цього позитивного впливу на стан ґрунтово-рослинного покриву, прилеглого до контуру провальних зон.

8. Пропоноване здобувачем науково-технічне рішення (розділ 7) щодо екологобезпечного використання хвостів збагачення залізних руд як основного компонента пастоподібних сумішей з метою ліквідації техногенних пустот є безумовно важливим науково-практичним результатом. Проте у досліджуваному залізорудному басейні все ж залишаться значні обсяги накопичень хвостів збагачення навіть після закладання існуючих різнотипних техногенних пустот. Які здобувач вбачає перспективи розвитку рекомендованої технології щодо підвищення рівня утилізації дрібнодисперсних хвостів збагачення у межах розробленої ним концепції?

Зазначені зауваження та дискусійні аспекти не знижують загальної позитивної оцінки й наукового рівня дисертаційного дослідження.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Вважаю, що дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на сучасному та високому науковому рівні, у якому вирішено актуальну наукову проблему розробки наукових основ комплексної ліквідації техногенних пустот, утворених внаслідок підземних і відкритих гірничих робіт шляхом їх заповнення пастовим і комбінованим закладним масивом, у складі якого екологобезпечно утилізуються відходи гірничо-металургійного комплексу.

Робота характеризується єдністю змісту, логічною структурою викладення, належним рівнем теоретичного обґрунтування та значним обсягом експериментальних, аналітичних і чисельних досліджень.

Отримані здобувачем наукові результати є новими, обґрунтованими і достовірними, мають істотне теоретичне та практичне значення для науки та сталого розвитку суспільства. Зміст дисертаційної роботи відповідає паспортам спеціальностей 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин та 21.06.01 – екологічна безпека.

За актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості й достовірності результатів, їх теоретичним і практичним значенням, повнотою

висвітлення в опублікованих працях та відповідністю змісту заявленим спеціальностям, обсягом та оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

Її автор Петльований Михайло Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин та 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук за спеціальністю
21.06.01 – екологічна безпека, професор,
професор кафедри геоінженерії
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Оксана ТВЕРДА

Підпис доктора технічних наук,
професора кафедри геоінженерії,
Оксани ТВЕРДОЇ
ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Валерія ХОЛЯВКО

