

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Петльованого Михайла Володимировича

на тему: *«Наукові основи комплексної ліквідації техногенних пустот
із використанням відходів гірничо-металургійного комплексу»*,

яка представлена на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук за спеціальностями

05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин

та 21.06.01 – екологічна безпека

Відгук складено на основі вивчення дисертації, опублікованих здобувачем наукових праць, а також документів, що свідчать про реалізацію і впровадження результатів проведених досліджень.

1. Актуальність та обґрунтованість теми дисертаційного дослідження

Промислове освоєння родовищ мінеральних ресурсів є необхідною умовою сталого розвитку економічного потенціалу багатьох країн світу. Видобування корисних копалин супроводжується масштабним техногенним втручанням у надра, порушенням природного напружено-деформованого стану масиву гірських порід, утворенням підземних пустот, розвитком деформацій земної поверхні, а також утворенням і накопиченням значних обсягів промислових відходів видобутку та переробки. Унаслідок цього впливу крупні гірничодобувні регіони характеризуються поєднанням геомеханічних, техногенних та екологічних ризиків. Особливої актуальності зазначені аспекти набувають для Криворізького басейну, що забезпечує 70% видобутку залізних руд України, і де протягом тривалого періоду підземної та відкритої розробки рудних родовищ утворено складну систему техногенних пустот, таких як непогашені підземні пустоти та провальні зони в межах полів діючих і законсервованих шахт Кривбасу. Таке техногенно-порушене геологічне середовище вимагає ефективного контролю та керування геомеханічним станом задля попередження або зменшення ризиків виникнення нових обвалень, деформацій земної поверхні, руйнування інфраструктури та загроз для населення. Окрім цього у басейні накопичено близько 11 млрд. т відходів гірничо-металургійного комплексу, що становлять суттєве техногенне навантаження на природне навколишнє середовище. Площа порушених земель сьогодні оцінюється майже в 50% від площі промислового центру – м. Кривий Ріг.

Існуючі підходи до ліквідації техногенних пустот і подальшої рекультиваци земної поверхні, зокрема їх засипання відвальними пустими породами, мають локальне застосування й не забезпечують необхідний рівень геомеханічної стабілізації масиву через недостатні деформаційні та фільтраційні властивості сипучого середовища. До того ж, застосування такого підходу не забезпечує широкого залучення дрібнодисперсних відходів гірничо-металургійного комплексу, насамперед хвостів збагачення залізних руд, які накопичуються у хвостосховищах і створюють тривале техногенне навантаження на довкілля.

Одним з перспективних напрямів є дослідження трансформації фізичного стану закладного масиву від сипкого до монолітного для керування станом порушеного масиву гірських порід та масштабування утилізації відходів гірництва із використанням найбільш ефективного способу закладання, що безпосередньо досліджується та розкривається у представленому дисертаційному дослідженні.

Сьогодні виникає наукове протиріччя між необхідністю у надійній ліквідації різнотипних техногенних пустот, стабілізацією порушеного масиву гірських порід і земної поверхні та обмеженими можливостями традиційних підходів, які не забезпечують достатнього керування порушеним масивом і не вирішують повною мірою проблему екологобезпечної утилізації накопичених дрібнодисперсних відходів гірничо-металургійного комплексу. Розв'язання цього протиріччя потребує розроблення наукових основ керування геомеханічним станом гірських порід і земної поверхні при ліквідації різнотипних техногенних пустот залізорудних родовищ із використанням технології пастового закладання та екологобезпечним залученням відходів гірничо-металургійного комплексу до складу закладних сумішей. Реалізація такого підходу забезпечує стабілізацію техногенно порушених ділянок надр, зменшення антропогенного навантаження на довкілля та впровадження принципів раціонального надрокористування і сталого розвитку.

Отже, вищевикладене визначає та обґрунтовує актуальність обраної теми дисертаційної роботи, її теоретичну та практичну значущість для підземної розробки рудних родовищ і підвищення рівня екологічної безпеки гірничопромислових регіонів.

2. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами

Вважаю, що тематика дисертаційної роботи повною мірою відповідає пріоритетним науковим напрямам держави та положеннями Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року та Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року.

Дисертаційне дослідження виконано у межах і в тісному зв'язку з держбюджетними, грантовими та госпдоговірними науково-дослідними роботами, що виконувались в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» і тематично відповідають напрямку дисертації, зокрема: держбюджетні проекти, що фінансувалися МОН України – 0116U004619, 0116U008041, 0120U101099, 0126U001271; гранти Національного фонду досліджень України – № 2021.01/0306 і № 2025.07/0393; госпдоговірні тематики – № 7/19 і № 10146-22/4122-ПУ.

Участь здобувача у зазначених роботах як наукового керівника та виконавця підтверджує системність проведених досліджень, їх відповідність науковим планам університету, а також практичну спрямованість отриманих у дисертації результатів.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими й достовірними, оскільки ґрунтуються на самостійно виконаних здобувачем оригінальних дослідженнях, результати яких спрямовані на розв'язання важливої наукової проблеми в області підземної розробки родовищ та екологічної безпеки.

Наукові положення, що захищаються у дисертаційній роботі:

1. Просторове розширення провальної зони у постактивній фазі обвалення змінюється за логарифмічною залежністю у часі й через дію залишкових деформацій та ерозії спричиняє деградацію ґрунтово-рослинного покриву прилеглих територій, що підтверджується зниженням нормалізованого вегетаційного індексу NDVI з 0,49 до 0,36. Мінімізація цієї техногенно-екологічної небезпеки досягається шляхом трансформації хвостів збагачення залізних руд, які у місцях накопичення під впливом кліматичних факторів є джерелом вторинного забруднення прилеглих територій, у монолітний закладний масив, що іммобілізує у своїй структурі забруднюючі речовини та токсичні елементи та його формуванням у провальному просторі. Це обґрунтовує безпечний спосіб рекультивації та обмежує подальше розширення площі провальних зон.

Перше наукове положення є результатом комплексних досліджень техногенно-екологічної небезпеки розвитку провальних зон. За допомогою низки сучасних програмних ресурсів здобувач дослідив як повний розвиток провальної зони у часі, так і безпосередньо у постобвальній фазі, та виявив закономірності збільшення площ в умовах діючих і закритих шахт. Окрім цього, здобувачем доведено кількісний деструктивний вплив подальшого розширення провальних зон на ґрунтово-рослинний покрив прилеглих територій. Наукові результати, покладені у положення, відповідають спеціальності 21.06.01.

2. Оптимальний пастоподібний стан закладної суміші для ліквідації техногенних пустот досягається при вмісті твердої фази 75%, з яких 70,5% хвостів збагачення з осушених карт хвостосховищ, 4,5% в'язучого матеріалу та 25% води. Реологічна поведінка суміші описується моделлю Гершеля-Баклі та покращується введенням 1,0 – 1,5% суглинку, що компенсує водовіддачу при високому вмісті меленого граншлаку в комбінованому в'язучому. При цьому електропровідність суміші є кількісним індикатором інтенсивності гідратаційних процесів та формування міцності закладного масиву: величина міцності лінійно залежить від пікового значення електропровідності та обернено пропорційна степеневій функції часу досягнення цього максимуму. Отримані закономірності створюють основу експрес-методу неруйнівного прогнозування міцності й оперативної оптимізації складу сумішей.

Зазначене наукове положення ґрунтується на значному обсязі експериментальних і лабораторних досліджень, за результатами яких автором обґрунтовано раціональний склад пастових закладних сумішей на основі хвостів збагачення, встановлено умови досягнення їх пастоподібного стану та реологічні

закономірності трубопровідного транспортування. Науковою цінністю положення є встановлення взаємозв'язку між електропровідністю суміші, гідратаційними процесами та формуванням міцності закладного масиву. Отримані результати відповідають спеціальності 05.15.02 у частині дослідження складу, реологічних і міцнісних властивостей закладних сумішей та використання відходів у підземному просторі.

3. В умовах розвитку зсувних процесів при поглибленні розробки рудних покладів Кривбасу від 1300 до 1800 м земна поверхня зі сторони висячого боку зазнає подальшого руйнування, а часткове блокування цих деструктивних процесів досягається шляхом формування у провальних зонах упорної призми з монолітного пастового закладання, ефективність якої описується поліноміальною залежністю від кута відкосу провалу та жорсткості закладного масиву й набуває максимальних значень до 30% інтенсивно зростаючи при кутах падіння рудного покладу понад 50°. Це дозволяє попередити розширення площі провалу у просторі, зменшити розмір мульди зсуву, інтенсивність розкриття тріщин на земній поверхні й підвищити рівень техногенно-екологічної безпеки.

Положення ґрунтується на результатах чисельного моделювання розвитку зсувних процесів при поглибленні розробки рудних покладів Кривбасу та оцінює ефективність формування упорної призми з монолітного пастового закладання у провальних зонах. Його наукова цінність полягає у встановленні залежності ефекту блокування деформацій від кута відкосу провалу та жорсткості упорної призми закладного масиву, що дає змогу кількісно оцінювати ступінь стабілізації порушеної земної поверхні. Вважаю, що положення має міждисциплінарний характер і відповідає спеціальності 05.15.02 у частині керування станом масиву гірських порід, дослідження зсувних процесів і технологій закладних робіт, а також спеціальності 21.06.01 у частині зниження техногенно-екологічної небезпеки порушених територій.

4. В інтервалі глибин 50 – 150 м існують нижня та верхня межі граничного розміру непогашеної підземної пустоти за падінням, при яких налягаючі породи ще не втратили стійкість, але вже розвинений деформаційний зв'язок із земною поверхнею. Виявлені критичні межі логарифмічно залежать від глибини розташування її покрівлі, а відстань між якими звужується зі збільшенням кута падіння рудного тіла від 50 до 70°. Наявність пустот, розміри за падінням яких перебувають у встановлених межах, свідчить про формування приграничного геомеханічного стану масиву ($H/L_{кр} = 0,4 \dots 1,2$), який просторово оцінюється зіставленням еквівалентного прольоту пустоти з цими ж межами. Отримані результати дозволяють прогнозувати наявність підземних пустот у приграничному стані, визначати необхідну міцність пастового закладання та своєчасно запобігти розвитку прогресуючих деформацій земної поверхні.

Наукове положення ґрунтується на результатах багатоваріантного чисельного моделювання напружено-деформованого стану масиву навколо непогашених підземних пустот. Його наукова новизна полягає у кількісній параметризації приграничного стану масиву як проміжного стану між стійкістю та обваленням. Практична цінність положення полягає у можливості прогнозування небезпечного стану підземних пустот та обґрунтування

необхідної міцності пастового закладання для запобігання прогресуючим деформаціям земної поверхні. Отримані результати відповідають спеціальності 05.15.02 у частині дослідження взаємодії породного масиву з природними та штучними опорами під дією гірничого тиску й інших природних чинників та керуванням їх стану.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується коректністю постановки і вирішенням задач із використанням широкого спектру апробованих методів досліджень, положень механіки гірських порід, будівельної механіки, механіки суцільного та сипучого середовища, методів математичної статистики; значним обсягом аналітичних, експериментальних та чисельних досліджень; достатнім ступенем відповідності результатів аналітичних досліджень та чисельного моделювання (збіжність результатів 73 – 89%).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

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;

- 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 проектування 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 залізрудних 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, розробленою класифікацією технологій закладання за видовим різноманіттям відходів і виявленою сукупністю раціональних індикаторів їх використання.

Вважаю, що отримані результати, без сумніву, характеризуються науковою новизною та є достатньо обґрунтованими. Висновки, наведені в дисертаційній роботі, обґрунтовані та відповідають задачам проведених досліджень і результатам їх аналізу.

4. Оцінка змісту роботи та повнота викладу положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях

Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, у яких викладено документи, що підтверджують практичну значимість та реалізацію результатів дослідження.

Вважаю, що дисертаційна робота характеризується логічною послідовністю викладення матеріалу, єдністю змісту та узгодженістю її структурних частин. Отримані наукові й практичні результати відповідають поставленій меті та завданням дослідження, а сформульовані висновки і рекомендації достатньо повно відображають зміст виконаної роботи.

У *першому розділі* автором виконано аналіз стану порушеної земної поверхні, масштабів впливу гірничодобувної діяльності та сучасних підходів до мінімізації її наслідків при розробці залізрудних родовищ. На основі проведеного аналізу сформульовано наукову проблему, мету і завдання дослідження.

У *другому розділі* досліджено екологічну небезпеку техногенних пустот і відходів гірничо-металургійного комплексу, виконано їх систематизацію,

досліджено розвиток впливу провальних зон на прилеглі території, обґрунтовано пріоритетність утилізації промислових відходів у складі пастових закладних сумішей, експериментально доведено екологічну безпечність трансформації хвостів збагачення у монолітний закладний масив для ліквідації техногенних пустот та запропоновано нову концепцію ліквідації техногенних пустот. Розділ за науковими результатами є основним у межах спеціальності 21.06.01.

У *третьому розділі* розроблено комплексну методологію аналітичних, лабораторних та чисельних досліджень, що охоплює визначення міцнісних параметрів пастового закладання, методики дослідження фізико-хімічних, реологічних і фізико-механічних властивостей сумішей, а також підходи до чисельного моделювання геомеханічних процесів.

Четвертий розділ присвячено аналітичним дослідженням міцнісних характеристик пастового та комбінованого закладного масиву в умовах впливу геомеханічних процесів, зокрема при ліквідації провальних зон, непогашених підземних пустот і вироблених просторів кар'єрів.

У *п'ятому розділі* представлено результати комплексу експериментальних досліджень властивостей пастового закладання на основі хвостів збагачення залізних руд, обґрунтовано раціональні склади сумішей, їх реологічні та міцнісні характеристики, можливість заміни частини в'язучого альтернативними матеріалами, закономірності зв'язку електропровідності й міцності, а також вплив додавання дроблених порід у закладну суміш для підвищення фізико-механічних характеристик штучного масиву. Розділ за науковими результатами є основним у межах спеціальності 05.15.02.

Шостий розділ розкриває механізми трансформації геомеханічної ситуації масиву при закладанні техногенних пустот пастовими сумішами, наведено результати чисельного моделювання впливу закладання провальних зон, непогашених підземних пустот і вироблених просторів кар'єрів на стан масиву та земної поверхні. Розділ за науковими результатами є основним у межах спеціальності 05.15.02.

У *сьомому розділі* обґрунтовано технологію комплексної ліквідації техногенних пустот, наведено методики розрахунку її параметрів, розглянуто компонування мобільного закладного комплексу, раціональне розміщення технологічних елементів і виконано еколого-економічну оцінку запропонованих рішень. Розділ за практичними результатами відповідає спеціальностям 05.15.02 та 21.06.01, в яких розкрито аспекти технології ліквідації підземних і відкритих пустот, а також описано який вплив це матиме з екологічної та соціально-економічної точок зору.

Загальні висновки відповідають поставленим завданням, узагальнюють основні наукові та практичні результати й логічно випливають зі змісту роботи.

Основні результати досліджень опубліковані в 72 наукових працях, з яких: 16 статей у періодичних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або WoS (з них 8 – у журналах з квартилем Q1 – Q2); 1 стаття у закордонному виданні; 21 стаття у періодичних наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України; 4 статті у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами Scopus

та/або WoS; 4 розділи у колективних монографіях, виданих міжнародними і вітчизняними видавництвами; 1 монографія; 2 патенти на корисні моделі; 23 статті та тези доповідей у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. Наукові результати, що покладені в основу наукових положень, достатньо широко опубліковані автором у періодичних виданнях і обговорені на наукових конференціях.

5. Значення результатів дисертаційної роботи для науки, практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає у розробці основ і принципів керування геомеханічним станом природно-техногенного масиву гірських порід при ліквідації техногенних пустот шляхом формування пастових і комбінованих закладних масивів із відходів гірничо-металургійного комплексу, властивості яких обґрунтовано встановленими закономірностями взаємозв'язку між компонентним складом пастових сумішей, фізико-хімічними процесами їх структуроутворення, реологічною поведінкою та фізико-механічними властивостями, що дозволяє зменшити руйнівні деформації земної поверхні й покращити екологічний стан гірничодобувних регіонів.

Практичне значення отриманих результатів:

- вдосконалено методику досліджень комплексу фізичних, хімічних та механічних властивостей закладних матеріалів, пастових сумішей та закладних масивів;
- розроблено нову технологію комплексної ліквідації різнотипних техногенних пустот пастовими закладними сумішами, що поєднані в єдину закладну мережу з централізованим їх приготуванням та транспортуванням;
- обґрунтовано комбінований спосіб формування закладного масиву кар'єрної пустоти з чередуванням шарів пастового та породного закладання як захід рекультивації земної поверхні;
- розроблено комплексну методику розрахунку параметрів ліквідації різнотипних техногенних пустот із застосуванням монолітних пастових та комбінованих закладних масивів;
- розроблено методику визначення раціонального розміщення мобільного закладного комплексу між хвостосховищем та техногенними пустотами;
- складено нову 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.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка». Наукові та практичні результати дослідження передані та впроваджені у науково-дослідну, проектну й виробничо-технологічну практику НДГРІ КНУ, ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України та ТОВ «Гема Трейдинг», що підтверджує їх практичну значущість і прикладну спрямованість.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У результаті детального ознайомлення із дисертаційною роботою порушень академічної доброчесності не було виявлено. Всі ідеї та результати роботи належать здобувачу особисто. При цитуванні наукових праць українських і закордонних вчених зроблено відповідні посилання.

7. Дискусійні положення та зауваження

1. У розділі 1 (п. 1.3) здійснено аналіз стану порушеної земної поверхні гірничодобувними об'єктами та досліджень напрямів її мінімізації, наведено результати вивчення структури і форм порушення земної поверхні у Криворізькому залізрудному басейні, зокрема площ, порушених гірничими роботами, та об'єми пустот. Такі результати вже є елементом аналітичного дослідження й доцільно було б їх інтегрувати далі у роботі, саме у дослідницьку частину, наприклад у розділі 2, що підсилило б логічність викладу матеріалу.

2. Розроблена методика чисельного моделювання передбачає відтворення існуючих геометричних параметрів провальної зони шахти без необхідності моделювання поетапного відпрацювання рудного покладу від рівня земної поверхні (п. 3.3.3). Однак, у текстовій частині не зазначається, чому автор у розрахунковій схемі відтворення геометричних параметрів провальної зони пропонує відкладати кут воронкоутворення до земної поверхні саме від рівня критичної глибини розробки? Чим обґрунтовується такий підхід?

3. При розробці аналітичної моделі величини тиску відкосу провальної зони на потенційний закладний масив при поглибленні підземних гірничих робіт (п. 4.1) у розрахунковій схемі варто було б врахувати шаруватість масиву гірських порід згідно залізистих і сланцевих горизонтів, які чергуються в умовах криворізьких родовищ, що дещо змінює механізм зсувних процесів у висячому боці.

4. Автором у результаті проведення експериментальних досліджень (п. 5.6) виявлено нові закономірності зміни міцності пастової закладної суміші від величини електропровідності та безпосередньо часу досягнення її піку, що є науковим результатом наукового положення. Проте, у роботі достатньо не деталізується, яке подальше практичне значення має використання цих залежностей у межах розробленої концепції та процесів ведення закладних робіт при ліквідації техногенних пустот?

5. У п. 5.5 здобувачем доведено ефективність часткової заміни портландцементу меленим гранульованим шлаком у складі пастових закладних сумішей, що є важливим з позиції ресурсозбереження та зниження вартості закладних робіт. Враховуючи тенденцію до зростання вартості будівельної техногенної сировини та в'язучих матеріалів, доцільно здійснювати подальший пошук мінімізації вмісту портландцементу в рецептурах без погіршення властивостей закладного масиву, що безумовно підвищить техніко-економічну привабливість запропонованої концепції ліквідації техногенних пустот.

6. Автором у п. 5.7 зазначається, що у специфічних складних геотехнічних умовах провальних зон шахт у пастоподібну закладну суміш рекомендується

додавати подрібнені фракції породи крупністю до 15 мм та раціональній кількості від твердої частини 15%. Потребує деталізації та подальшого уточнення, якими саме є ці складні геотехнічні умови та яким чином досягається стали режим транспортування суміші, що містить тверді включення до провального простору.

7. Яким чином при чисельному моделюванні подальшої підземної розробки рудного покладу та її впливу на деформації земної поверхні здійснювалась імітація процесу обвалення порід висячого боку у вироблений простір при вилученні рудних запасів поверху, адже метод кінцевих елементів не фіксує значні переміщення контуру відслоненого масиву.

8. При виконанні чисельного моделювання впливу закладного масиву, сформованого у провальній зоні шахти, було б доцільно, окрім визначення площі мульди зсуву в розрізі вхрест простягання за даними моніторингових точок, додатково визначити основні параметри її профілю, а саме нахил та кривизну мульди зсуву. Таке доповнення дозволило б повніше охарактеризувати не лише інтегральний ефект блокування деформацій пастовим закладанням, а й локальні прояви небезпечного деформування земної поверхні, оскільки зазначені параметри значною мірою визначають імовірність формування тріщин, терас і пошкодження поверхневих об'єктів.

9. У п. 6.2 дисертаційної роботи автором обґрунтовано умови формування приграничного геомеханічного стану масиву навколо непогашених підземних пустот. Разом з тим, доцільно було б додатково розглянути вплив зовнішніх техногенних факторів на такі пустоти, зокрема розвиток процесів зрушення в масиві порід під час відпрацювання рудного покладу, наприклад в іншому залізистому горизонті. Такий додатковий вплив може змінювати напружено-деформований стан порід, прискорювати порушення суцільності масиву та сприяти передчасному переходу від приграничного стану до стану обвалення, що потребує подальшого наукового опрацювання.

10. У п. 7.5 при визначенні очікуваного економічного ефекту від реалізації запропонованих технічних заходів з ліквідації техногенних пустот автором виконано розрахунок експлуатаційних витрат. Оскільки реалізація таких заходів очікується довгостроковою, доцільно було б додатково врахувати можливий вплив інфляційних процесів і зміни цінкових показників, що підсилило б прогнозну економічну оцінку вартості запропонованих ліквідаційних заходів.

Зазначені зауваження та дискусійні положення мають переважно уточнювальний і рекомендаційний характер, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та не знижують наукової і практичної цінності отриманих результатів.

8. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено актуальну нову наукову проблему. Дисертаційна робота написана грамотною технічною мовою й характеризується структурно-логічною побудовою. Встановлені у процесі досліджень наукові результати є новими та оригінальними. Робота містить наукові положення, що характеризуються

достатнім рівнем обґрунтованості та достовірності, науковою новизною та значимістю і є практично корисними для розвитку суспільства й економіки у контексті сталого розвитку. Отримані наукові результати відповідають паспортам спеціальностей 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин (п. 1, 2, 5, 12) та 21.06.01 – екологічна безпека (п. 3 – 8).

Вважаю, що дисертаційна робота Петльованого Михайла Володимировича «Наукові основи комплексної ліквідації техногенних пустот із використанням відходів гірничо-металургійного комплексу», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 05.15.02 – підземна розробка родовищ корисних копалин та 21.06.01 – екологічна безпека, задовольняє всім вимогам, передбаченим постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1197 «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», затверджену «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», а також Наказу Міністерства освіти і науки України від 23.09.2019 р. № 1220 «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», зареєстрованого у Міністерстві юстиції України від 8.10.2019 р. № 1086/34057.

За розв'язання актуальної наукової проблеми з розробки науково-методологічних засад комплексної ліквідації техногенних пустот на основі встановлення закономірностей керування геомеханічним станом масиву гірських порід і земної поверхні та обґрунтування екологобезпечної технології пастового закладання з використанням відходів гірничо-металургійного комплексу, що забезпечує стабілізацію техногенно порушених територій, зменшення екологічного навантаження та реалізацію принципів раціонального надрокористування, **Петльований Михайло Володимирович** заслуговує на присудження 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, професор,
декан гірничо-металургійного
факультету Криворізького
національного університету

Всеволод КАЛІНІЧЕНКО

Відгуки отримано 24.08.2026
Всіхні секретар
стат. вказів рази 208.808.63
Мих. Петльованого



Підпис	<i>В. Калініченко</i>
ЗАСВІДЧУЮ:	
Відділ кадрів Криворізького національного університету	
<i>Кир. М. Зайчик</i>	
"21" 08 2026 р.	