

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук

Фролова Олександра Олександровича

на дисертаційну роботу *Луценка Сергія Олександровича*

**на тему: «РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПРОЄКТУВАННЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ
РОБІТ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ ЗА УМОВ МІНЛИВОЇ ПОТРЕБИ В
РУДЬ»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

Відгук сформовано на підставі ґрунтовного аналізу дисертаційного дослідження, його автореферату, наукових праць здобувача, а також супровідних матеріалів, що висвітлюють прикладний характер отриманих результатів і підтверджують їхню практичну цінність.

**Обґрунтування актуальності обраної теми досліджень та зв'язок з
науковими програмами, планами і темами**

Розвиток залізорудної галузі України є ключовим чинником стабільного функціонування чорної металургії та забезпечує значну частку експортних надходжень України. Основу діяльності гірничо-збагачувальних комбінатів становить розробка родовищ залізистих кварцитів, складна геологічна будова яких зумовлює необхідність застосування сучасних високотехнологічних рішень. Досвід експлуатації родовищ свідчить, що традиційні підходи до проектування режимів гірничих робіт не гарантують належної узгодженості між параметрами функціонування кар'єру та змінною потребою у товарній продукції. Коливання ринкової кон'юнктури спричиняє зміни інтенсивності видобутку, що ускладнює формування раціональної робочої зони та спричиняє зростання непродуктивних витрат.

Дослідження роботи залізорудних кар'єрів у часі свідчать про систематичні відхилення фактичного розвитку гірничих робіт від проєктних показників. Існуючі методики не забезпечують можливості оперативного коригування темпів відпрацювання родовищ відповідно до змін попиту на залізорудну сировину. У результаті календарні графіки зазнають швидших змін, ніж передбачалося проєктом, що зумовлює відставання за розкривними роботами, формування тимчасово неактивних бортів, зокрема у видобувних зонах, і, як наслідок, зниження виробничих можливостей підприємств.

Аналіз досвіду проектування та експлуатації кар'єрів показує, що ефективність відкритої розробки значною мірою визначається оптимальністю

формування просторових параметрів робочої зони. Це є характерним як для окремих кар'єрів, так і для їх груп в межах одного комбінату, де розвиток гірничих робіт між ними має бути узгодженим. Такі підходи орієнтовані на стаціонарні умови, тоді як сучасна реальність вимагає врахування змін попиту на рудну сировину та відповідного коригування виробничої потужності. Це, своєю чергою, потребує підвищення гнучкості, адаптивності та впровадження механізмів динамічного управління ключовими параметрами функціонування виробництва.

Тому, необхідність наукового обґрунтування підходів для динамічного управління розвитком гірничих робіт, що дозволить підвищити ефективність використання виробничих потужностей кар'єрів і забезпечити їх стабільне функціонування в умовах непередбачуваних змін попиту на залізорудну сировину, є актуальним.

Дисертація виконана відповідно до низки науково-дослідних робіт (тем) Криворізького національного університету та Академії гірничих наук України, у яких автор брав активну участь як виконавець. Зокрема, це «Визначення продуктивності Ганнівського кар'єру ПАТ «ПівнГЗК»» (№ держреєстрації 011U005572), «Визначення перспективних границь кар'єру, що забезпечують конкурентоспроможність залізорудної продукції Полтавського ГЗК» (№ 0114U003099), «Визначення перспективних границь і продуктивності Першотравневого кар'єру ПАТ «ПівнГЗК»» (№ 0115U002577). Виконання цих робіт забезпечило автору можливість отримати достовірні вихідні дані, виявити ключові закономірності розвитку кар'єрів та сформулювати наукові положення, що стали складовою змісту дисертації та визначили її прикладну спрямованість.

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

Наукові положення, висновки і рекомендації, а також теоретичні і прикладні результати дисертаційної роботи, є належно обґрунтованими. Це підтверджується комплексним аналізом, систематизацією і узагальненням досліджень, виконаних у контексті розв'язання актуальних завдань щодо динамічного планування і регулювання розвитку гірничих робіт на кар'єрах, а також встановленням закономірностей формування і трансформації робочої зони кар'єрів за умов змінної потреби у залізорудній сировині.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Параметри робочої зони кар'єру визначаються закономірностями, зворотного просторово-технологічного впливу, за якого зменшення довжини активного фронту, що зумовлене концентрацією гірничих робіт, вимагає компенсаційного розширення робочого майданчика для забезпечення нормативних запасів руди, що в умовах геометричних обмежень кар'єру та конфігурації рудного тіла формує експоненційну залежність між ними.

2. Максимально можлива продуктивність кар'єру за рудою обмежується умовою безперервного забезпечення нормативних запасів

готових до виймання, яка, встановленим взаємозв'язком між шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту, стає лімітуючим чинником по відношенню до технічних можливостей видобутку.

3. Оптимальні параметри системи розробки залежать від взаємозв'язку режиму гірничих робіт, продуктивності за рудою та геометричних характеристик робочої зони, що дає змогу коригувати інтенсивність відпрацювання родовища шляхом цілеспрямованої зміни сполучення параметрів системи розробки з урахуванням просторових обмежень робочої зони та необхідних нормативних запасів, готових до виймання, для забезпечення заданої продуктивності.

4. Межі проектного кар'єру визначаються змінним у часі граничним коефіцієнтом розкриву, значення якого формується відповідно розрахункової динаміки техніко-економічних показників (потенційних коливань попиту, потреби в руді), а також – заданих продуктивності та режиму гірничих робіт проектного кар'єру.

Наукова новизна отриманих результатів чітко й коректно сформульована, має належне обґрунтування та полягає у наступному:

1. Уперше встановлено взаємозв'язок між параметрами системи розробки – шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту гірничих робіт – виходячи з нормативних запасів, готових до виймання, і з просторових обмежень кар'єру, визначених гірничо-геометричним аналізом кар'єрного поля. Доведено, що цей взаємозв'язок визначає максимально можливу продуктивність кар'єру за рудою та впливає на режим гірничих робіт, зокрема на динаміку формування робочої зони кар'єру.

2. Уперше запропоновано і аналітично обґрунтовано метод визначення максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою, що враховує не лише максимальну інтенсивність видобутку, але й умови формування нормативних запасів, які визначаються встановленим взаємозв'язком ширини робочого майданчика та довжини активного фронту гірничих робіт.

3. Уперше розроблено та теоретично обґрунтовано метод оптимізації параметрів системи розробки в активній частині робочої зони кар'єру, що враховує комплексний взаємозв'язок між режимом гірничих робіт, продуктивністю за рудою та геометричними характеристиками робочої зони.

4. Удосконалено критерій оцінювання і вибору оптимального варіанта розвитку гірничих робіт, який урахує не лише характер поширення корисних копалин і розкривних порід за кількістю та якістю в межах кар'єрного поля, а також порядок і інтенсивність формування активного робочого простору кар'єру.

5. Уперше обґрунтовано новий розрахунковий принцип визначення меж проектного кар'єру з урахуванням зміни граничного коефіцієнта розкриву в часі, обумовленої динамікою техніко-економічних і технологічних показників діяльності кар'єрів-конкурентів, а також планованої продуктивності та режиму гірничих робіт проектного кар'єру.

6. Уперше обґрунтовано науково-методологічний підхід до планування розвитку гірничих робіт у глибоких залізорудних кар'єрах, який передбачає зміну інтенсивності відпрацювання родовищ залежно від коливань потреби в залізорудній сировині і враховує забезпечення можливості гнучкої зміни продуктивності за рудою.

7. Розроблено динамічну економіко-математичну модель оптимізації обсягів виробництва залізорудної товарної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів, яка враховує взаємозв'язок між режимом гірничих робіт і продуктивністю за рудою в умовах нетипових змін зовнішнього середовища, на основі дотримання нормативних запасів, а також відставання розкривних робіт у кожному з кар'єрів, що входять до складу комбінату.

Обґрунтованість і достовірність отриманих у дисертації наукових результатів підтверджуються методичною правильністю застосування апробованих методів досліджень, застосуванням фундаментальних положень теорії відкритих гірничих робіт, а також задовільною збіжністю результатів теоретичних досліджень з практичними даними. Використані в роботі методи гірничо-геометричного аналізу, доповнені урахуванням установлених закономірностей розвитку робочої зони кар'єру, дали змогу об'єктивно оцінити параметри альтернативних схем експлуатації відповідно до норм технологічного проєктування. Надійність наукових висновків забезпечено застосуванням математичного і імітаційного моделювання, що дозволило суттєво підвищити точність результатів. Практична цінність роботи підтверджена успішним упровадженням результатів досліджень на виробничих майданчиках ПАТ «Полтавський ГЗК», Ганнівського кар'єру АТ «ПівнГЗК» та ПАТ «Інгулецький ГЗК».

Практичне значення отриманих результатів досліджень

У дисертаційній роботі запропоновано до використання декілька нових методик, зокрема:

- методику визначення продуктивності кар'єру за рудою для різних варіантів розвитку гірничих робіт із урахуванням послідовності та інтенсивності відпрацювання окремих ділянок робочої зони;
- методику кількісної оцінки відставання або випередження розкривних робіт від необхідних їх об'ємів у разі зміни продуктивності кар'єру;
- методику визначення динаміки річних об'ємів ліквідації відставання за розкритом залежно від змін продуктивності за рудою;
- методику встановлення перспективних меж проєктованого кар'єру з урахуванням змінних у часі економічних показників підприємства;
- методику планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі в умовах непередбаченої зміни потреби у залізорудній сировині, яка відрізняється від відомих можливістю оперативного регулювання головних параметрів кар'єру та враховує взаємозв'язок ширини робочого майданчика і довжини активного фронту робіт для забезпечення нормативного запасу руди;

- методику перерозподілу продуктивності групи кар'єрів гірничо-збагачувального комбінату відповідно до динаміки попиту на залізорудну продукцію.

Таким чином, створено відповідний розрахунково-аналітичний інструментарій для визначення просторових параметрів кар'єру та продуктивності в умовах змінної потреби в залізорудній сировині.

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

Дисертація складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел із 324 найменувань на 33 сторінках та 4 додатків на 33 сторінках, містить 136 рисунків і 43 таблиці. Загальний обсяг дисертації складає 404 сторінки, з яких 295 – основний текст.

Структура дисертації є впорядкованою та логічною, текст роботи характеризується точністю формулювань і коректним застосуванням науково-технічної термінології. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві, а отримані наукові і практичні результати безумовно належать до спеціальності 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та застосовані методи дослідження. Представлено наукові положення, новизну та практичну цінність результатів, наведено дані про особистий внесок автора, апробацію матеріалів і структуру дисертації.

У **першому** розділі наведено результати комплексного аналізу теоретичних напрацювань і практичних рішень щодо регулювання розвитку гірничих робіт у залізорудних кар'єрах. Розглянуто підходи до формування просторових параметрів кар'єрного простору, специфіку функціонування системи розробки за умов коливання потреби в залізорудній продукції, а також концепції, спрямовані на забезпечення адаптивності та стабільності технологічних режимів відпрацювання родовищ. Здійснений аналіз дозволив виявити основні недоліки існуючих методик та сформулювати наукові передумови для подальшого вдосконалення підходів до динамічного управління розвитком гірничих робіт.

У **другому** розділі викладено методологічні основи досліджень, обґрунтовано вибір застосованих загальнонаукових і спеціальних методів досліджень та сформульовано робочі гіпотези для подальших теоретичних і прикладних розробок в напрямку вирішення проблеми динамічного розвитку гірничих робіт.

У **третьому** розділі досліджено взаємозв'язок між шириною робочого майданчика і довжиною активного фронту, що визначає формування нормативних запасів і продуктивність за рудою. Розроблено метод визначення максимально можливої продуктивності з урахуванням параметрів системи розробки та інтенсивності відпрацювання родовища. Досліджено вплив геологічних і технологічних чинників на продуктивність залізорудних кар'єрів.

У **четвертому** розділі досліджено вплив зміни продуктивності кар'єру на економічну ефективність гірничого підприємства, параметри робочої зони і на величину експлуатаційних коефіцієнтів розкриву.

У розділі обґрунтовано метод визначення оптимальних параметрів системи розробки при концентрації гірничих робіт на окремих ділянках робочої зони. Також розроблено методику визначення річних обсягів ліквідації відставання за розкритом, що дає змогу оптимізувати режим роботи кар'єру у перехідні періоди.

У **п'ятому** розділі наведені результати досліджень впливу режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру на встановлення його меж.

Обґрунтовано показник економічної ефективності для оцінювання меж кар'єру, розроблено метод визначення граничного коефіцієнта розкриву при його зміні в часі, а також новий розрахунковий принцип визначення кінцевої глибини. Показано як продуктивність кар'єру істотно впливає на величину граничних коефіцієнтів розкриву та відповідно – на кінцеві межі розробки.

У **шостому** розділі обґрунтовано концепцію динамічного розвитку гірничих робіт кар'єрів за умов змінної потреби в залізорудній продукції, яка передбачає оперативне регулювання інтенсивності відпрацювання родовища на основі коригування параметрів системи розробки та порядку відпрацювання ділянок. Розроблено методику планування гірничих робіт задля забезпечення підтримання нормативних запасів і мінімізацію поточних коефіцієнтів розкриву під впливом коливань попиту. Також представлено економіко-математичну модель і алгоритм оптимізації продуктивності групи кар'єрів у складі гірничо-збагачувального комбінату, що дозволяють раціонально перерозподіляти видобуток між кар'єрами та підвищувати ефективність роботи комбінату в цілому.

Результати дисертаційної роботи, у тому числі наукові положення, висновки і рекомендації, опубліковано в 62 наукових працях, 19 з яких є одноосібними, а саме: 27 наукових статей в періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 5 статей у журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і Web of Science Core Collection; 4 статті у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і WoS; 2 статті – в закордонних журналах; 24 – у збірниках тез і статей наукових конференцій.

Кількість наукових праць здобувача, у яких опубліковано результати роботи відповідає встановленим вимогам МОН України.

Значення роботи для науки, практики та суспільства

Наукове значення роботи полягає у розробці методології динамічного проектування та планування розвитку гірничих робіт на залізорудних кар'єрах в умовах змінної потреби в залізорудній сировині, що ґрунтується на комплексному і системному врахуванні гірничо-геологічних, технологічних і економічних чинників, їх взаємозв'язків та впливу на параметри та послідовність формування робочої зони кар'єру.

Практичне значення отриманих у дисертації результатів полягає в обґрунтуванні параметрів динамічного проєктування режиму та планування розвитку гірничих робіт кар'єрів за умов змінної потреби в залізорудній сировині. Розроблено методики та рекомендації, які підвищують ефективність управління розвитком гірничих робіт, раціональне формування активної частини робочої зони кар'єру та зниження ризиків відставання або випередження розкривних робіт. До таких належать:

1. Методика визначення продуктивності кар'єру за рудою для різних варіантів розвитку гірничих робіт з урахуванням порядку й інтенсивності відпрацювання різних ділянок робочої зони кар'єру;
2. Методика визначення відставання й випередження розкривних робіт від необхідних при зміні продуктивності кар'єру за рудою;
3. Методика визначення динаміки річних обсягів ліквідації відставання за розкритом при зміні продуктивності кар'єру за рудою;
4. Методика визначення перспективних границь кар'єру, що проєктується, яка враховує мінливі в часі економічні показники розробки чинних (базових) підприємств;
5. Методика планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі в умовах мінливої потреби в залізорудній продукції, яка відрізняється від відомих можливістю регулювати головні параметри кар'єру, а також враховує взаємозв'язок ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечують у кар'єрі нормативний запас руди, готовий до виймання;
6. Методика обґрунтування перерозподілення продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу ГЗК, при зміні потреби в залізорудній продукції.

Суспільне значення роботи визначається вирішенням проблеми безперебійного задоволення потреб у залізорудній продукції в умовах змінної кон'юнктури ринку.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами детального ознайомлення з дисертаційною роботою встановлено, що порушень академічної доброчесності не виявлено. Усі запозичення коректно оформлено з дотриманням вимог щодо посилань на використані джерела.

Дискусійні положення та зауваження по роботі

1. В першому розділі аналіз зміни попиту на залізорудну продукцію виконується, виходячи, перш за все, з економічних чинників. Однак в умовах воєнного стану в Україні, забезпечення потреб ринку обмежується, дуже часто, неможливістю або ускладненістю транспортної доставки продукції, а також енергетичними лімітами. Тому, доцільно було б також проаналізувати і вплив цих форс-мажорних обставин.

2. При проведенні досліджень в третьому розділі не зовсім зрозуміло, для яких гірничо-геологічних і технологічних умов розробки визначаються параметри фронту робіт в активній зоні і ширина робочої зони.

3. Варто було б чіткіше сформулювати положення про те, що класичні методики дають певну похибку (п. 4.1), оскільки ігнорують вплив геометричних параметрів робочої зони (ширини майданчика) на можливу інтенсивність видобутку.

4. Бажано було б більш детально провести аналіз отриманих графічних залежностей рис. 4.26 (стор. 210) та пояснити, зокрема, чому крива 1 має різку «точку перегину» при досягненні продуктивності кар'єру близько 3,5 млн м³/рік.

5. На рисунках 5.16-5.18 (стор. 258-259) показані залежності зміни граничних і найбільших поточних коефіцієнтів розкриття кар'єру від зміни глибини гірничих ро $\Delta h_{г.р.}$. Однак, враховуючи те, що відпрацювання певної висоти може відбуватися за різний час, доцільно було б додатково врахувати вплив тривалості відпрацювання.

6. У розділі 5 для встановлення перспективних меж кар'єру Полтавського ГЗК виконано дискретизацію кар'єрного поля на 18 розрахункових зон при цьому не обґрунтовано причину такого поділу.

7. При описі графічних залежностей рис. 5.39 (стор. 280) некоректно використано термін «коефіцієнт розкриття» відносно підприємства КЗРК, яке веде розробку родовищ підземним способом.

8. В п'ятому розділі цікавим і корисним було б розглянути варіант, коли розкрив знято на усій площі кар'єру, а гірничі роботи розвиваються тільки за рахунок поглиблення.

9. Одним з елементів керування інтенсивністю відпрацювання є зміна кута нахилу робочого борту. Бажано було б автору уточнити, яким чином зазначений параметр врахований в методиці планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі при динамічній зміні потреби в залізорудній сировині.

10. Запропонований принцип визначення меж кар'єру базується на змінному граничному коефіцієнті розкриття, який формується з урахуванням динаміки попиту на сировину. Однак такий підхід має певні ризики конкурентного середовища.

Загальний висновок щодо дисертаційної роботи

Зазначені зауваження мають в більшій мірі рекомендаційний характер і не впливають на наукову та практичну значимість результатів дисертації. Дисертація має високий науковий рівень, є логічно завершеною та структурно цілісною. За своїм наповненням, рівнем виконання, поданням матеріалу досліджень і отриманими результатами дисертаційна робота відповідає поставленій меті та розв'язанню сформульованих задач. Її основні положення, висновки та рекомендації є обґрунтованими і достовірними, оскільки отримані на підставі аналізу і обробки практичних даних.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 7, 8 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукових ступенів» (КМУ №1197 від 17.11.2021), а також наказу МОН України «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук» від 23 вересня 2019 року № 1220.

Вважаю, що за вирішення актуальної наукової проблеми динамічного проектування режиму і планування розвитку гірничих робіт залізрудних кар'єрів в умовах непередбаченої мінливості в потребі залізрудної сировини на підставі встановлених закономірностей формування активної частини робочої зони кар'єру, визначення граничного коефіцієнта розкриття та розроблення інноваційних методів регулювання інтенсивності відпрацювання родовищ, Луценко Сергій Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри геоінженерії
НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського



Відрук надійшов до докторської ради
03.04.26

В.о. вченого секретаря ради
Д 09.05.2021
Наталія
Шваур.

