

11. Хром'як Й. Я., Доскач О. Б., Лисяк Н. М. Організаційно-економічний механізм інвестиційної діяльності органів місцевого самоврядування. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2014. Вип. 5(109). С. 119–130.
12. Данилишин Б. Земельні відносини як чинник розвитку. Урядовий кур'єр. 2006. № 91. С. 6.
13. Борсук О. М. Чинники формування інвестиційної привабливості аграрних підприємств. БНАУ. Червень 2010. С. 29.
14. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>.

Рукопис подано до редакції 28.04.24

УДК 691.32

Н. В. АСТАХОВА, В. І. АСТАХОВ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОПЕМЗОБЕТОНУ ТА ШЛАКОБЕТОНУ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО СТАЛЕВОЇ АРМАТУРИ

До умов, які забезпечують експлуатаційну надійність бетону конструкцій даху, відносять комплекс технологічних заходів, спрямованих на раціональний вибір вихідних матеріалів, застосування оптимальних режимів формування та твердіння, що сприяють отриманню структури бетону підвищеної щільності, низької капілярної пористості, з замкнутим характером пор.

Мета. Отримання модифікованих шлакобетону і шлакопемзобетону для конструкцій даху з безрулонною покрівлею і теплим горищем, які мають захисні властивості відносно укладеної в них сталеві арматури.

Методи дослідження. У якості основних методів досліджень була використана методика оцінки пасивності сталеві арматури, яка була розроблена в центральній лабораторії корозії науково-дослідного інституту залізобетону. Також використовувалась стандартна методика поперемінного зволоження-висушування пропарених зразків.

Наукова новизна. Розроблені шлакопемзобетон та шлакобетон раціонального модифікованого складу, які мають захисні властивості відносно укладеної в них сталеві арматури.

Практичне значення. Отримані шлакопемзобетон та шлакобетон раціональних модифікацій, які мають захисні властивості щодо укладеної в них сталеві арматури. Ці властивості є дуже важливими для бетону на шлакових матеріалах теплоізоляційно-конструктивного призначення, який використовується в конструкціях даху з безрулонною покрівлею та теплим горищем.

Результати. Встановлено, що шлакопемзобетон і шлакобетон наведених раціональних модифікацій після теплової обробки забезпечують пасивацію арматури. Щільність струму при потенціалі +300 мВ не перевищує 9 мкА/см², тобто – менше верхньої межі, що відповідає пасивному стану сталі – 10 мкА/см².

Після трьох місяців тимчасового зволоження - висушування зразків кожного з трьох досліджуваних видів бетону слідів корозійного ураження сталі в них не виявлено; щільність струму при потенціалі +300 мВ для зразків шлакопемзобетону ШП 12; ШП 22 та шлакобетону ГШП, відповідно, склала 6,8, 6 та 7 мкА/см², що виключає кородування сталі в бетоні.

Ключові слова: відходи ГЗК, мелений гранульований шлак, шлакопемзобетон, шлакобетон, сталеві арматура.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-73-77

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Захисна здатність по відношенню до сталеві арматури бетону на шлакових матеріалах теплоізоляційно-конструктивного призначення поступається бетону на щільних заповнювачах. Останнє має місце через зниження лужності порової рідини бетону за рахунок зв'язування гідроксиду кальцію гідравлічно активними пористими заповнювачами, підвищеної проникності розчинної частини і заповнювача і наявності сполук сірки в продуктах переробки доменних шлаків [1, 2].

Необхідною умовою для забезпечення пасивного стану арматури в бетоні на пористих заповнювачах є достатня щільність розчинної частини останнього поряд з призначенням необхідної товщини захисного шару бетону.

На підставі аналізу літературних даних, а також за результатами власних досліджень автором [1] зроблено висновок про те, що прискорююча корозію арматури дія сполук сірки шлакових матеріалів проявляється тільки в малощільному бетоні.

Аналіз досліджень і публікацій. Гірничодобувна та металургійна галузі України потерпають від значних труднощів через високі ціни на енергоресурси, значне скорочення ринків збу-

ту, зниження цін на промислову продукцію, брак сучасної техніки, відтік кваліфікованої робочої сили та вплив інших чинників [3].

Для оцінки потенційної можливості використання «хвостів» збагачення залізних руд для створення будівельних матеріалів, авторами [4] були досліджені склади в'яжучих, приготовлені шляхом додавання активізуючих добавок до «хвостів» збагачення залізних руд Криворізького залізорудного басейну [4].

В роботі [5] відзначається, що на території нашого міста і прилеглих територіях знаходиться велика кількість відходів, пов'язаних з діяльністю гірничодобувних підприємств. Проблеми утилізації відходів є однією з найважливіших для нашого регіону [5].

Під час видобування й перероблення залізних руд, руд кольорових металів, хімічної сировини, нерудних матеріалів отримують побічні продукти двох типів: у вигляді розкритих та інших видобутих порожніх порід, при веденні гірських робіт та відходів гірничозбагачувальних комбінатів. Більшість з них пов'язана з видобутком і переробкою залізних руд [5].

На залізорудних підприємствах країни обсяг порожніх порід досягає 400 млн т, у тому числі скельних порід більше 70 %. Крім того, відходи після збагачення руди становлять понад 200 млн т [6] [3].

В роботі [7] відзначається, що зараз видобуток залістистих кварцитів здійснюється відкритим способом на глибині до 400-450 м, а експлуатація кар'єрів глибиною понад 500 м економічно невиправдана. Обсяги заскладованих шламів становлять приблизно 6-7 млрд. тонн [8] [7].

Крім того, до відходів належить так звана некондиційна частина окислених руд високої якості. Вміст заліза в цих рудах становить 52-55% [9] [7].

Утилізація вторинних матеріалів виробництва призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання [10].

Утилізація дуже заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, в якому є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами [10]. Ключовим елементом у заохоченні до переробки відходів є принцип «забруднювач платить», який був включений до всіх директив Співтовариства щодо поводження з безпечними та небезпечними відходами. З метою заохочення до переробки багато держав-членів прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів [10].

За останні роки намітилася чітка тенденція до забезпечення підприємств будівельної індустрії матеріалами з відходів гірничорудної промисловості [11]. Економне використання природних сировинних ресурсів вимагає нових методів їх переробки, упровадження безвідходних технологій і комплексного використання всіх відходів виробництва. При сучасному технічному рівні розвитку світової промисловості можна повністю переробити всі попутні мінеральні продукти й відходи виробництва, близько 85% яких можуть бути використані в будівництві. Цей напрямок є перспективою розвитку національної промисловості. Відходи збагачених залізних руд посідають перше місце серед відходів гірничовидобувної промисловості, та їх обсяг зі збільшенням видобутку корисних копалин буде зростати [11].

В результаті проведених досліджень в роботі [11], було відзначено, що опір розтягнення бетону на заповнювачі з відходів ГЗК на 30 % більший, ніж бетону на заповнювачі з піску. Крім того, бетон на відходах має краще (у середньому 15-20%) зчеплення з арматурою [12, 13] [11].

За підсумками аналізу досліджень основних фізико-механічних характеристик бетонів на дрібних відходах ГЗК, можна відзначити, що стосовно міцності й деформативних властивостей зазначені бетони не поступалися, а за деякими параметрами й перевищували традиційні бетони на кварцовому піску [11].

В роботі [14] відзначається, що для отримання функціонального бетону, в якості складових потрібно застосовувати активні дрібнозернисті мінеральні наповнювачі, такі як метакаолін, мікрокремнезем та високоефективні суперпластифікатори. Оптимальне співвідношення цих компонентів дозволяє модифікувати структуру цементного каменю на мікрорівні. Це дозволяє покращити такі властивості бетону, як міцність, довговічність, корозійну стійкість та ін. [14].

Важливо зазначити, що ці властивості досягаються за допомогою високої рухливості та сумішей, що самоущільнюються, із зниженими витратами цементу [14]. Натепер використовуються такі найпоширеніші добавки-модифікатори, як мікрокремнезем та метакаолін. Однак зазначені добавки мають певні недоліки, які заважають їх широкому використанню. До таких недоліків мікрокремнезему слід віднести те, що він є відходом виробництва, а отже, не має стабі-

льності властивостей. Недоліком метакаоліну є його висока вартість через досить великі витрати енергії на його приготування [14].

Тому в якості одного з реакційно-здатних порошоків в роботі [14] використовували мелений до питомої поверхні $(300 \pm 25) \text{ м}^2/\text{кг}$ доменний гранульований шлак.

Постановка завдання. Метою дослідження є отримання модифікованих шлакобетону і шлакопемзобетону для конструкцій даху з безрулонною покрівлею і теплим горищем, які мають захисні властивості відносно укладеної в них сталевій арматури.

Викладення матеріалу та результати. Дослідженнями [15] встановлена задовільна захисна здатність по відношенню до сталевій арматури конструкційного шлакопемзобетону С25 – після двох років нормального твердіння слідів корозії арматури в бетоні не виявлено.

У роботі [16] викладено дослідження стану арматури в керамзитобетоні та шлакопемзобетоні при товщині захисного шару 20 мм. Встановлено залежність величини корозійного руйнування сталі від умов зберігання зразків. Зміна відносної вологості повітря з 40-50 % до 80 % зумовлює збільшення площі та глибини ураження арматури. Найкращу захисну дію по відношенню до сталевій арматури має шлакопемзобетон щільної структури з використанням як дрібного заповнювача шлакопемзового піску і гранульованого доменного шлаку. В зразках шлакопемзобетону з піском з гранульованого шлаку при витраті цементу $285 \text{ кг}/\text{м}^3$, що зберігалися в середовищі з відносною вологістю повітря 80 % при температурі 30°C протягом 48 місяців, слідів корозії арматурної сталі не виявлено. В той же час у шлакопемзобетоні на шлакопемзовому піску з витратою цементу $300 \text{ кг}/\text{м}^3$, за інших рівних умов, уражено 15 % площі арматури. Очевидно, що зазначена витрата цементу ($300 \text{ кг}/\text{м}^3$) не забезпечує отримання щільної структури шлакопемзобетону на шлакопемзовому піску.

Згідно з методикою, розробленою в центральній лабораторії корозії науково-дослідного інституту залізобетону, критерієм оцінки пасивності сталевій арматури є анодна поляризованість останньої в бетоні після тепловологісної обробки, а також після закінчення 3 місяців попереминого зволоження-висушування пропарених зразків. При цьому, сталь у бетоні – пасивна, якщо при потенціалі +300 мВ по насиченому каломельному електроду щільність струму не перевищує $10 \text{ мкА}/\text{см}^2$ [17].

Дослідженню були піддані шлакопемзобетон і шлакобетон складів Ш 12; Ш 22; ГШП (табл. 1).

Таблиця 1

Склади бетону на шлакових матеріалах раціональних структур для конструкцій дахів з безрулонною покрівлею та теплим горищем

Шифр складу	Цемент, кг	Мелений граншлак, кг	Шлакова пемза						Граншлак		$\frac{M}{M+K}$	Гранична крупність заповнювача	Вода, л	ГКЖ-11, в перерахунку на суху речовину
			0-5		5-10		10-20		кг	л				
			кг	л	кг	л	кг	л						
Ш-22	300	270	677	608	182	243	261	365	-	-	0,5	20	269	174
Ш-12	300	300	812	729	282	376	-	-	-	-	0,66	10	276	180
ГШП	300	275	-	-	-	-	-	-	1372	1170	1	5	262	173

По осі бетонного зразка розміром $70 \times 70 \times 140$ мм укладався ретельно очищений, знежирений електрод з арматурної сталі діаметром 4 мм довжиною 120 мм (рис. 1). Ущільнення бетонної суміші жорсткістю 30 с здійснювалося на лабораторному вібростолі з привантаженням 3000 Па. Було виготовлено по 6 зразків кожного з досліджуваних видів бетону. Три зразки піддавалися випробуванню після тепловологісної обробки, інші – в тримісячному віці після пропарювання бетону.

Дослідження стану сталі в бетоні проводилося в центральній лабораторії корозії науково-дослідного інституту залізобетону. Встановлено, що шлакопемзобетон і шлакобетон наведених раціональних модифікацій після тепловологісної обробки забезпечують пасивацію арматури. Щільність струму при потенціалі +300 мВ не перевищує $9 \text{ мкА}/\text{см}^2$ (рис. 2), тобто – менше верхньої межі, що відповідає пасивному стану сталі – $10 \text{ мкА}/\text{см}^2$.

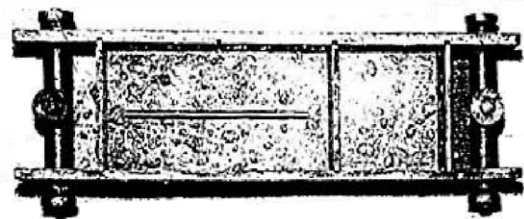


Рис. 1. Виготовлення зразків для оцінки захисних властивостей бетону по відношенню до сталевій арматури

Після трьох місяців тимчасового зволоження - висушування зразків кожного з трьох досліджуваних видів бетону слідів корозійного ураження сталі в них не виявлено; щільність струму при потенціалі +300 мВ для зразків шлакопемзобетону ШП 12; ШП 22 та шлакобетону ГШП, відповідно, склала 6,8, 6 та 7 мкА/см² (рис. 3), що виключає кородування сталі в бетоні.

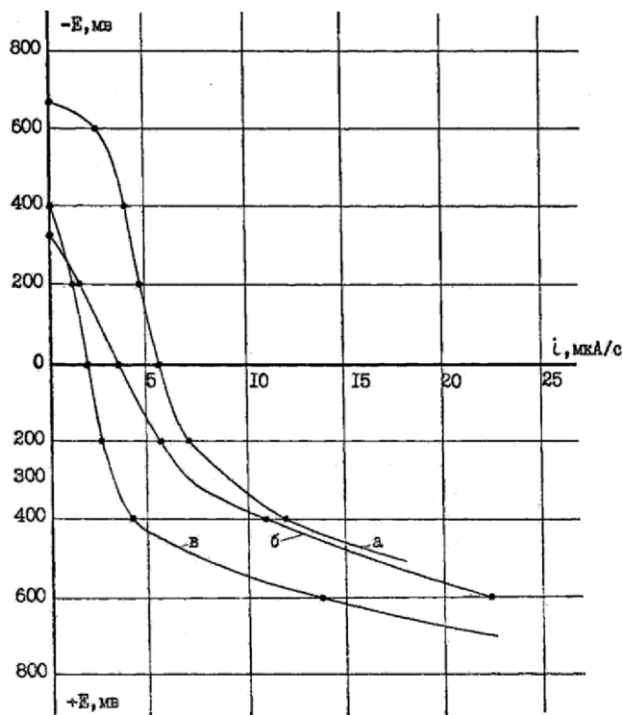


Рис. 2. Дослідження захисних властивостей бетону по відношенню до сталевій арматурі. Поляризаційні криві арматурної сталі в бетоні після тепловологісної обробки: *a* – шлакопемзобетон ГК-10, *б* – шлакопемзобетон ГК-20, *в* – шлакобетон

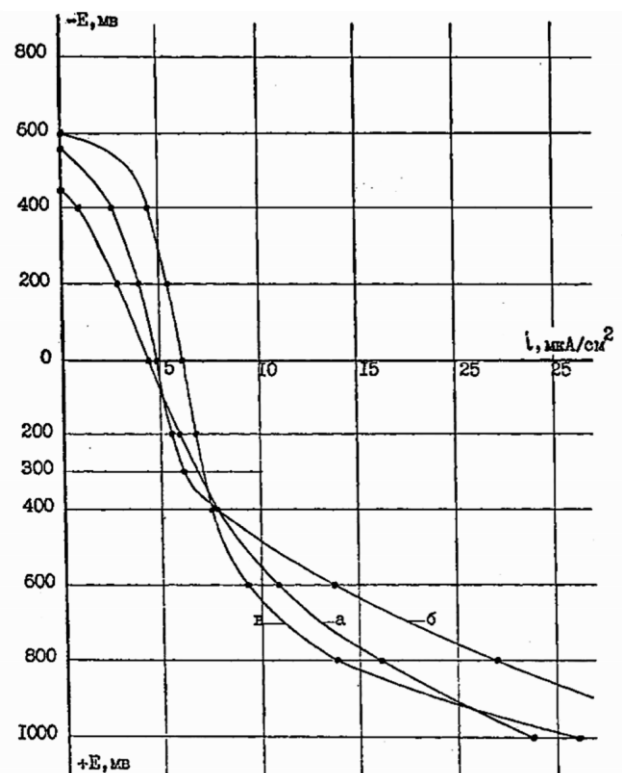


Рис. 3. Дослідження захисних властивостей бетону по відношенню до арматурі. Поляризаційні криві арматурної сталі в бетоні у віці 90 діб після пропарювання: *a* – шлакопемзобетон ГК-10; *б* – шлакопемзобетон ГК-20; *в* – шлакобетон

Висновки та напрямки подальших досліджень. Шлакопемзобетон і шлакобетон для конструкцій даху з безрулонною покрівлею і теплим горищем мають пасивну дію відносно укладеної в них сталевій арматурі.

Щільність струму при позитивному потенціалі 300 мВ після тепловологісної обробки не перевищує 9 мкА/см², після трьох місяців поперемінного зволоження-висушування – 7 мкА/см² при допустимій 10 мкА/см².

Список літератури

1. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры железобетонных конструкций [Текст]: дис... д-ра техн. наук. - М.: 1970. - 310 с.
2. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне / С. Н. Алексеев // М.: Стройиздат, 1968. - 231 с.
3. Княшко В. Т., Салій І. В., Яковенко Л. О., Малиновський Ю. О. Перспективні напрями утилізації відходів гірничо-збагачувального виробництва / В. Т. Княшко, І. В. Салій, Л. О. Яковенко, Ю. О. Малиновський // Екологічні науки. - 2020. - № 4(31). - С. 103-106.
4. Шишкин А. А., Шишкина А. А., Щерба В.В. Особенности использования отходов горнообогатительных комбинатов в производстве строительных материалов / А. А. Шишкин, А. А. Шишкина, В. В. Щерба В.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. - 2013. - № 1(99). - С. 8 – 12.
5. Єфіменко В. І., Єфіменко В. В., Ягодкіна О. О. Аналіз доцільності комплексного використання відходів гірничо-видобувних підприємств на виробництво нерудних будівельних матеріалів / В. І. Єфіменко, В. В. Єфіменко, О. О. Ягодкіна // Вісник Криворізького національного університету. - 2014. Вип. 36. - С. 159-165.
6. Окороков С.Д. Расчет портландцементной сырьевой шихты / С.Д. Окороков // М.: Стройиздат, 1975. - 329 с.
7. Скурковський В. В., Костін Д. Ю. Використання відходів гірничо-збагачувальних комбінатів в дорожньому будівництві / В. В. Скурковський, Д. Ю. Костін // Збірник наукових праць 85-ї міжнародної наукової конференції студентів університету, ХНАДУ. - 2023. С.104-106.
8. Перспективи залучення в експлуатацію техногенних родовищ (на прикладі України і Грузії) / Копац П. І. та ін. // Екологія і природокористування. - 2013. Вип. 16. - С. 210-218.

9. Перегудов В. В., Григор'єв І. Є., Григор'єв Ю. І. Дослідження взаємозв'язків параметрів техногенних родовищ насапного типу / В. В. Перегудов, І. Є. Григор'єв, Ю. І. Григор'єв // Гірничий вісник. - 2019. Вип. 105. - С. 29-34.

10. Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві / О. В. Соколов, А. Д. Желтобрюх, І. В. Копинець, В. І. Каськів // Дороги і мости. – 2020. Вип. 21. – С. 110-119.

11. Валовой О. І., Астахов В. І., Афанасьєв В. В., Валовой М. О., Єременко О. Ю. Використання відходів гірничорудної промисловості у промисловому, цивільному та транспортному будівництві / О. І. Валовой, В. І. Астахов, В. В. Афанасьєв, М. О. Валовой, О. Ю. Єременко // Гірничий вісник. - 2020. - вип. 107. – С. 142-147.

12. Валовой О. І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О. «Корозійна стійкість бетонів на заповнювачах з відходів металургійної промисловості» / О. І. Валовой, О. Ю. Єрьоменко, М.О. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2016. – Вип. 32. – С.15-22.

13. Валовой М. О. «Технологія виготовлення та аналіз тріщиностійкості дослідних зразків балок на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів» / М. О. Валовой // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне. – 2013. – Вип.25. – С. 233–239.

14. Шишкіна О. О., Шишкін О. О. Вплив міцел, наповнених реакційними порошками, на міцність бетону / О.О. Шишкіна, О. О. Шишкін // Нові технології в будівництві. – 2021. Вип. 39. – С. 61 – 68.

15. Геммерлинг Г. В., Важенин Б. В., Климочкина Э. П. Влияние качества шлаковой пемзы на свойства шлакопемзобетона / Г. В. Геммерлинг, Б. В. Важенин, Э. П. Климочкина // В кн.: Строительные материалы и изделия из металлургических шлаков. - М.: 1966. - С. 73-77.

16. Алексеев С. Н., Степанова В. Ф. Защита от коррозии арматуры в легких бетонах / С. Н. Алексеев, В. Ф. Степанова // Бетон и железобетон. - 1968, № 5. - С. 26-28.

17. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. - М.: НИИЖБ, 1979. - 30 с

Рукопис подано до редакції 29.02.24

УДК 622.271

Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, С.О. ЛУЦЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,
Д.В. БРОВКО, д-р техн. наук, доц., І.В. БАРАНОВ, канд. техн. наук, с. н. с.,
С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.
Криворізький національний університет

АДАПТАЦІЯ КІНЦЕВИХ КОНТУРІВ КАР'ЄРІВ №2-БІС ТА №3 ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» В УМОВАХ ДИНАМІКИ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Основна мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні і подальшій адаптації проектних положень гірничих робіт кар'єрів №2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідно до оновлених гірничо-геологічних даних.

Методами дослідження є ретроспективний, компаративний та каузальний аналіз невідповідностей положень гірничих робіт до актуальних гірничо-геологічних даних, а також гірничо-геометричний аналіз фактичного і проектного положень гірничих робіт.

Наукова новизна дослідження полягає в установленні динаміки неузгодженості головних параметрів відкритих гірничих робіт до змін гірничо-геологічних факторів.

Практичне значення полягає у встановленні фактичної невідповідності кутів відкосів неробочих бортів кар'єрів до фізико-механічних властивостей масиву порід з подальшим усуненням даних неузгодженостей шляхом проектування кінцевих контурів гірничих робіт на засадах динамічного проектування.

Результати. В роботі виконано ретроспективний аналіз проектних рішень щодо розвитку відкритих гірничих робіт на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», а також сучасного їх стану. На підставі виконаного авторами аналізу невідповідностей головних параметрів відкритих гірничих робіт фізико-механічним властивостям порід було проведено геомеханічні розрахунки стійкості породного масиву і визначено безпечні кути відкосів уступів і бортів кар'єрів. На базі проведених розрахунків геомеханічної стійкості масивів гірських порід було виявлено можливі зони оптимізації кінцевих контурів гірничих робіт шляхом зменшення ширини берм та збільшення кутів відкосів уступів. В результаті динамічного проектування кінцевих контурів кар'єру №2-біс та №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було обґрунтовано приращення запасів залізнитих кварцитів на 5,2 млн т і на 22,1 млн т відповідно при зменшенні середнього коефіцієнту розкриву.

Таким чином, було науково обґрунтовано перспективи подальшого сталого розвитку гірничо-видобувного підприємства із безпечним розвитком мінерально-сировинної бази за рахунок впровадження підходів динамічного проектування головних параметрів кар'єрів.

Ключові слова: кар'єр, кут відкосу борта кар'єру, запаси корисних копалин, динамічне проектування.