

УДК 622.273.21

**Драгун Д.В.** студент гр. 184-22ск-2 ІІІ, ННІІ

**Наукові керівники:** Петльований М.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти; Сай К.С., к.т.н., доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

### **АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТВЕРДЮЧОГО ЗАКЛАДАННЯ ДЛЯ ЗАПОВНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПУСТОТ РУДНИХ РОДОВИЩ**

В сучасних умовах екологізації різних сфер діяльності людства закладання виробленого простору при розробці корисних копалин є дієвим та ефективним заходом як суттєвого зменшення негативного впливу процесів видобутку на довкілля, так і дотримання принципів раціонального природокористування [1-3]. В Україні значний досвід застосування закладання виробленого простору набутий при підземній розробці багатих гематито-мартитових руд Південно-Білозерського родовищ підповерхово-камерною системою [4]. Понад 50 років ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат» після виймання запасів руд з очисних камер укладає у вироблений простір мільйони тон кубометрів закладної суміші. З 2010 року річний об'єм заповнення пустот твердіючими сумішами складає понад 1,0 млн м<sup>3</sup>.

Для приготування закладної суміші успішно використовуються різні види промислових відходів, що дозволяє на сьогодні щорічно утилізувати близько 1,8 млн т промислових відходів, серед яких доменні гранульовані та відвальні шлаки; вапняковий кар'єрний відсів і відвальні шахтні породи [5, 6]. Найбільш позитивним аспектом впровадження систем розробки з твердіючим закладанням, без сумніву, є повне запобігання деформаціям і провалам денної поверхні та збереження цілісності низки водоносних горизонтів у рудно-кристалічному масиві безпосередньо над рудними покладами. Проте, незважаючи на позитивні сторони застосування твердіючого закладання, аналіз тривалого періоду ведення закладних робіт дозволяє виявити низку негативних аспектів, які потребують вдосконалення для досягнення найбільшого ефекту від застосування.

*Збільшення загальношахтного водопритоку.* Вода у складі закладної суміші виконує функції переміщення компонентів трубопровідним транспортом від місця приготування до відпрацьованої очисної камери та як необхідний компонент протікання гідратації в'язучих речовин з наступним твердінням і формування монолітного масиву. Згідно практичного досвіду, на приготування 1 м<sup>3</sup> суміші використовується 350-450 л води залежно від довжини транспортування й досягнення необхідного ступеня її рухливості. Але в процесі твердіння використовується не весь об'єм води, а її надлишок усувається шляхом дренажу через закладні перемички. Лише частина води приймає участь у гідратації, а частина поглинається інертним заповнювачем. Дренаж води з камери, що закладається, потрапляє до системи водовідливу горизонту та збільшує загальний водопритік і безпосередньо витрати на відкачування води. Проблема може бути усунена шляхом застосування пластифікаторів, що додаються у суміш. При зменшенні кількості води задовільні транспортабельні властивості з додаванням пластифікаторів можуть бути збереженими.

*Подрібнення в'язучого матеріалу.* Для розкриття в'язучих властивостей гранульованих шлаків їх у закладному комплексі піддають подрібненню мокрим помелом у шарових млинах типу МШЦ. За весь час існування комбінату шарові млини заміни не підлягали і є надто застарілими, характеризуються розкиданістю вихідних гранулометричних характеристик шлаку. Значну складність у формуванні закладного

масиву нормативної міцності надає нерівномірність подрібнення шлаку в кульовому млині, яке змінюється у досить широких межах від 46 до 55% частинок крупністю  $-0,074$  мм, при необхідному не менше 55% [7]. Це призводить до коливання міцності закладного масиву. Крім того, питомі енерговитрати (кВт·год/т) є високими порівняно із сучасними зразками млинів тонкого подрібнення. Енерговитрати на процес подрібнення серед усіх технологічних процесів закладного комплексу складають 70%. Заміну шарових млинів вважаємо своєчасним та ефективним завданням.

*Пружні властивості закладного масиву.* Закладний масив в ранні терміни твердіння має властивості пружнопластичного середовища. Закладний масив, як пружно-пластичне середовище, спочатку деформується пружно. Далі спостерігаються пластичні деформації, які переходять в крихке або в'язке руйнування. Чим вище набрана міцність закладного масиву, тим більше проявляються пружні властивості і менше – пластичні. У міру набору міцності з часом затвердіння пластичність закладки знижується. Міцний закладний масив може характеризуватися можливістю крихкого руйнування при малих деформаціях, що призводить до раптового його відшарування, в той час як менш міцний закладний масив, але більш пластичний, витримує великі деформації [8, 9]. Крихіткі властивості й незначна міцність закладання на розтяг провокують вивалоутворення масиву і збіднення видобутої руди [10]. Тому, з точки зору забезпечення безпечних умов ведення гірничих робіт і найменшого руйнування закладного масиву, при вийманні руди в суміжних камерах доцільно використовувати закладання із в'язким характером руйнування. Тобто, не завжди є потрібним закладний масив підвищеної міцності, залежно від умов розробки запасів руди міцністю закладного масиву необхідно балансувати шляхом коригування складу та властивостей закладної суміші.

*Вартість інертного наповнювача.* Закладні роботи завжди підвищують собівартість видобутку корисних копалин. Твердіюче закладання підвищує собівартість видобутку руди на 25-30%, проте видобуток багатих залізних руд високої якості та мінімізація їх втрат у масиві компенсують ці витрати і створюють виробництво рентабельним. В умовах ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат» аналіз вартості компонентів закладної суміші показав, що найбільш витратним є інертний заповнювач. В суміші він є комбінованим – це подрібнені відвальні породи (30-40%), відвальний шлак (15-20%) та вапняковий кар'єрний відсів (40-55%). Головний фактор витратності – транспортні витрати. Саме вапняковий кар'єрний відсів значно підвищує собівартість приготування  $1 \text{ м}^3$  закладної суміші, адже його транспорт здійснюється з кар'єру Тернопільської області. Відвальні породи розташовані поруч із закладним комплексом, а відстань доставки відвального шлаку є умовно незначною (80 км). Пошук альтернативних джерел інертного наповнювача з бажано місцевої мінерально-сировинної бази є вельми актуальним.

Таким чином, сформульовано важливі проблемні аспекти застосування прогресивного твердіючого закладання в умовах Південно-Білозерського родовища, розуміння й уявлення про які дозволить розробити напрями підвищення ефективності ведення закладних робіт, перш за все для покращення техніко-економічних показників гірничого підприємства.

### Перелік посилань

1. Chiloane, N.M., & Mulenga, F.K. (2022). Revisiting factors contributing to the strength of cemented backfill support system: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. In Press. Available online: 11 August 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.07.007>
2. Behera, S.K., Mishra, D.P., Singh, P., Mishra, K., Mandal, S.K., Ghosh, C.N., Kumar, R., & Mandal, P.K. (2021). Utilization of mill tailings, fly ash and slag as mine paste backfill material: Review and future perspective. *Construction and Building Materials*, (309), 125120.

3. Грінюв, В.Г., & Хорольський, А.О. (2020). Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (2), 19-24.
4. Кузьменко, А.М., & Петлёваный, М.В. (2014). Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды. *Геотехнічна механіка*, (118), 37-45.
5. Petlovanyi, M.V., Zubko, S.A., Popovych, V.V., & Sai, K.S. (2020). Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Technologii*, (6), 142-150. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-133-6-142-150>
6. Кузьменко, А.М., Петлёваный, М.В., & Усатый, В.Ю. (2010). Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки. В Матеріалах *Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки»* (с. 278-283). Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
7. Kuzmenko, O., & Petlovanyi, M. (2015). Substantiation the expediency of fine gridding of cementing material during backfill works. *Mining of Mineral Deposits*, 9(2), 183-190. <https://doi.org/10.15407/mining09.02.183>
8. Petlovanyi, M., & Sai, K. (2021). Modeling the stress state of the backfilling mass with different physical and mechanical properties. *Journal of Donetsk Mining Institute*, (1), 7-18. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2021-1-7-18>
9. Bitimbaev, M.Zh., Krupnik, L.A., & Shaposhnik, Yu.N. (2012). *Teoriya i praktika zakladochnykh rabot pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh*. Almaty: Publishing House of the Association of Higher Education Institutions of the Republic of Kazakhstan.
10. Кузьменко, А.М., & Петлёваный, М.В. (2017). Разрушение закладочного массива в зависимости от технологии его возведения. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (52), 159-166.